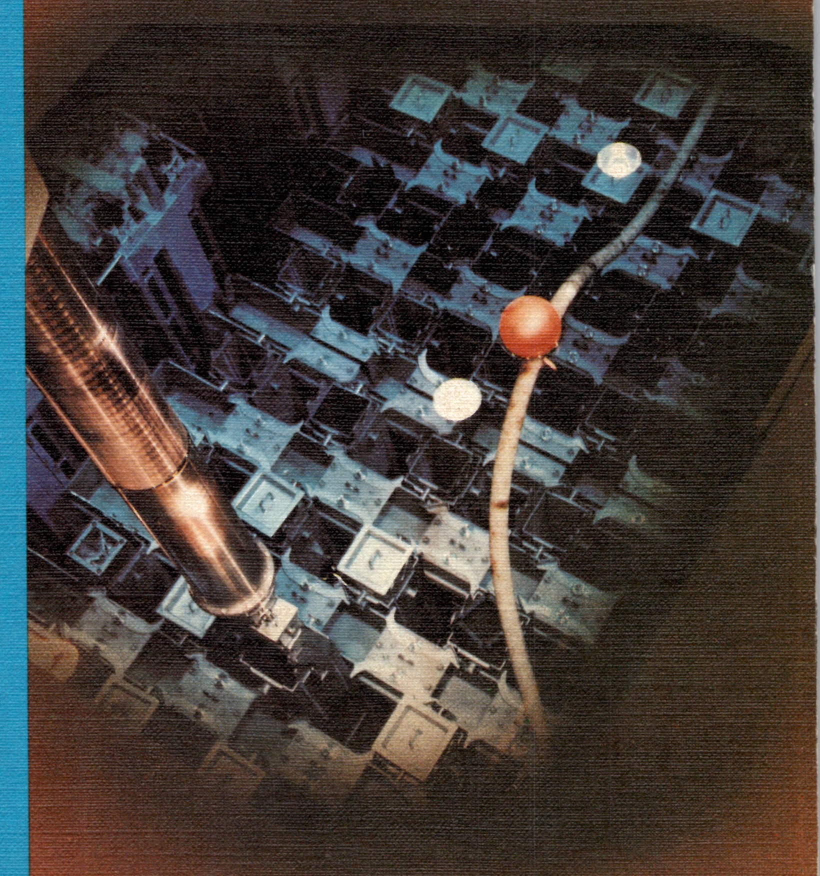
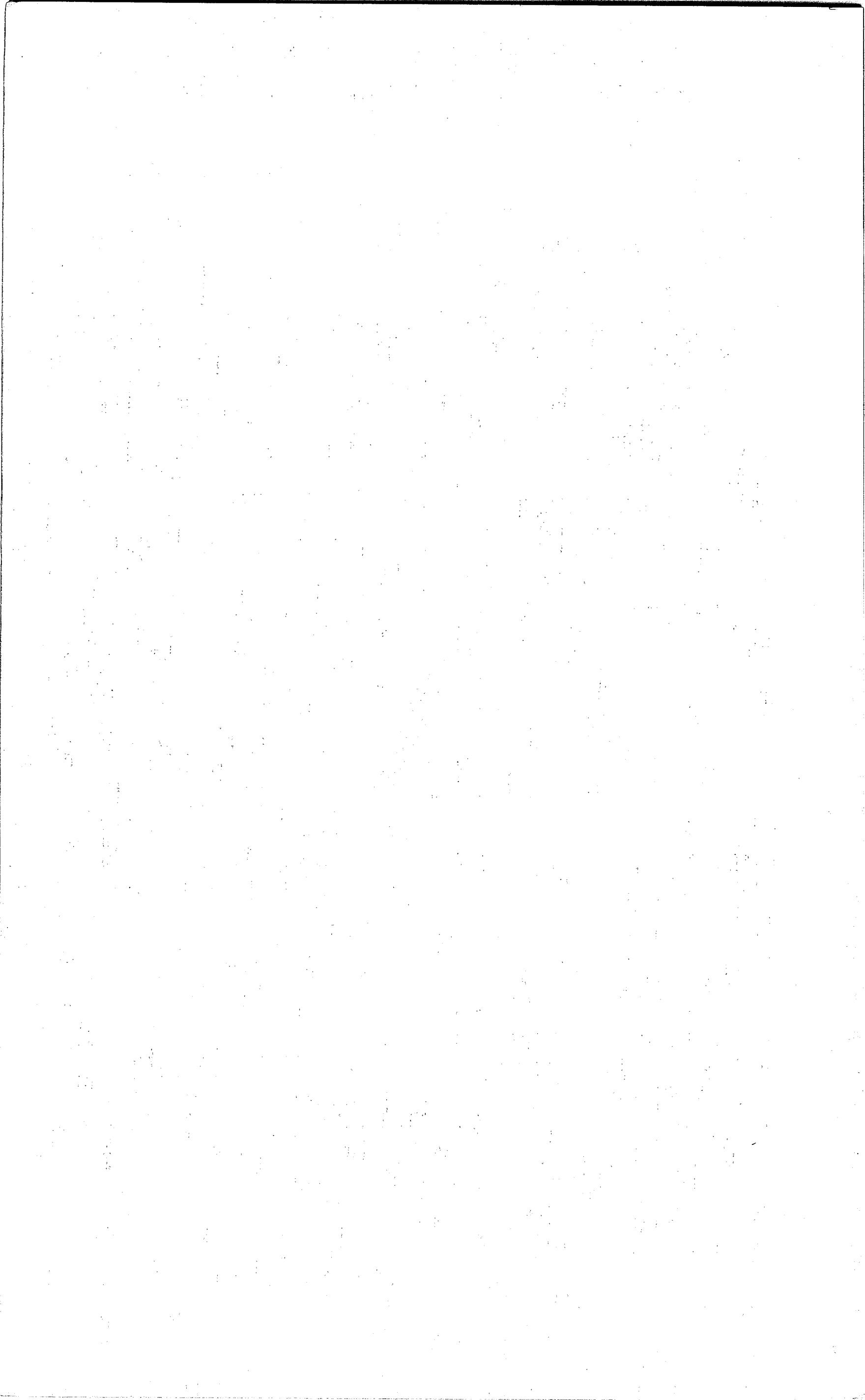
ECONiT

ROBERT GERWIN

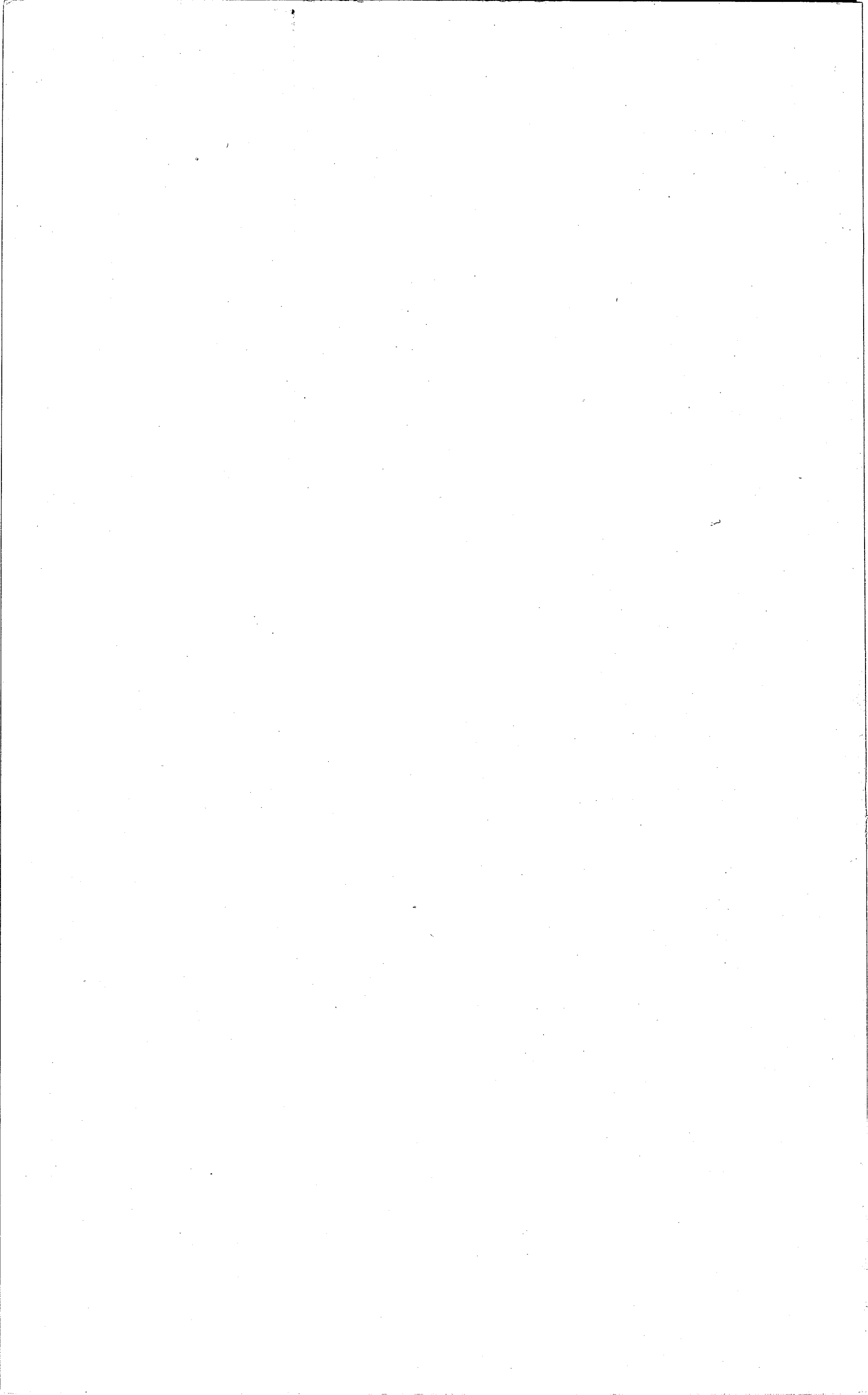
SO IST DAS MIT DER ENTSORGUNG



Was aus den verbrauchten Brennelementen der Kernkraftwerke wird



Gerwin
So ist das mit der Entsorgung



Robert Gerwin

So ist das mit der Entsorgung

Was aus den verbrauchten Brennelementen der Kernkraftwerke wird

ECON Verlag
Düsseldorf · Wien

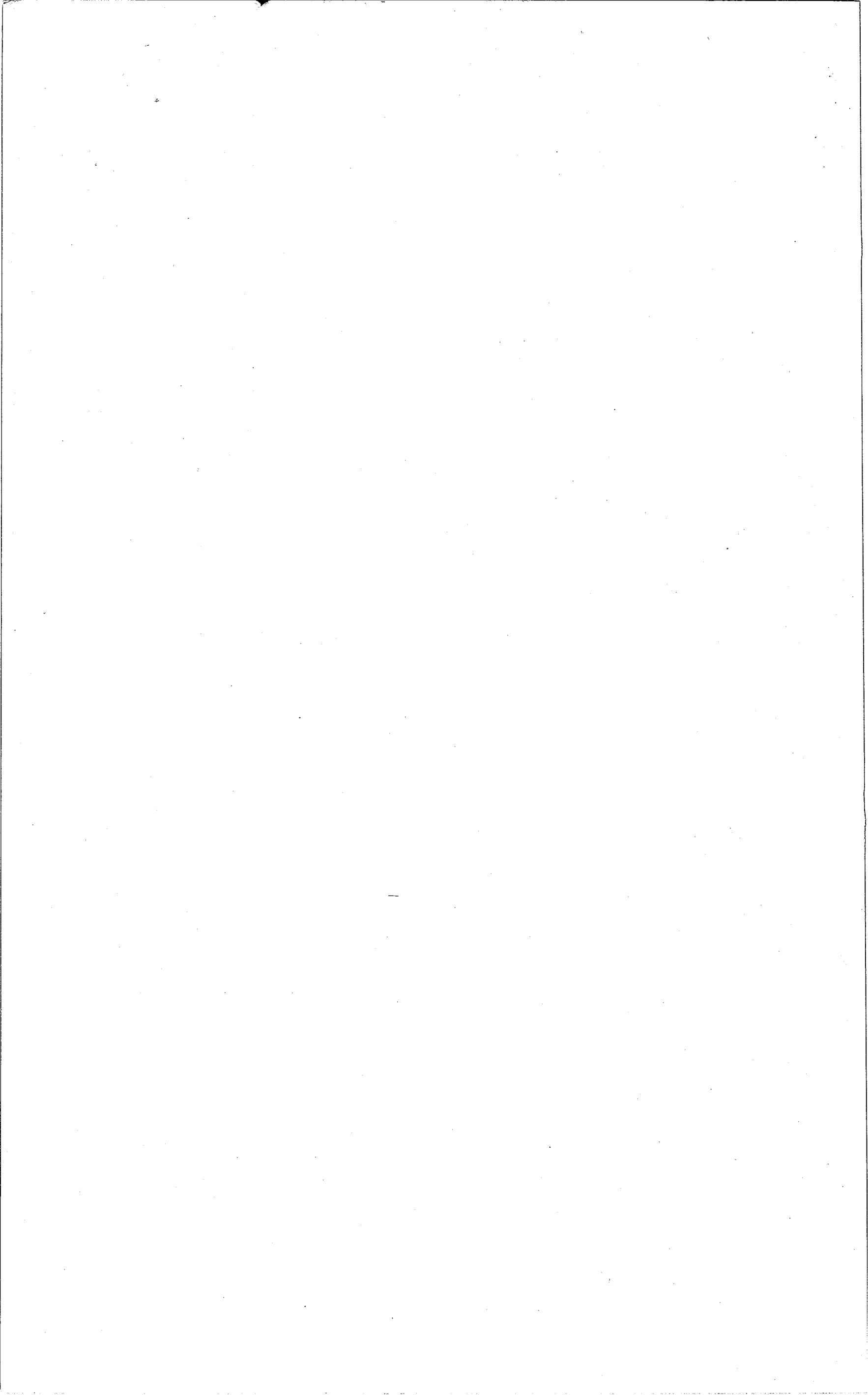
Bildnachweis:

Seite 13, 73, 97, 108	GWK	Gesellschaft zur Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH Eggenstein-Leopoldshafen 2
Seite 15, 61	GSF	Gesellschaft für Strahlenschutz- und Umweltforschung mbH, München
Seite 16		Wiederaufarbeitungsanlage Cap de la Hague/Frankreich
Seite 36	RWE	Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk, Essen
Seite 39, 40, 42	PREAG	Preußische-Elektrizitäts-AG, Hannover
Seite 49		SANDIA LABORATORIES LIVERMORE/CALIFORNIA
Seite 59, 111	DWK	Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH, Hannover 71

1. Auflage 1978

Illustrationen: Erich Patzies
Gesetzt aus der Times der Firma Berthold AG, Berlin
Satz: Aske+Kleine-Möllhoff GmbH, Hattingen
Druck- und Bindearbeiten: Richterdruck, Würzburg
Printed in Germany
ISBN 3 430 13204 5

Inhalt



Vorwort

Noch vor fünf oder sechs Jahren wäre es undenkbar gewesen, ein ganzes Buch über das Problem der Wiederaufarbeitung von ausgedienten Kernkraftwerks-Brennelementen zu schreiben. Unterdessen ist dieses Thema jedoch so sehr in die öffentliche Diskussion geraten, daß ein Versuch, hier durch eine umfassende sachgerechte Darstellung zu einer gewissen Ernüchterung und Klärung zu kommen, dringend geboten erscheint. Schließlich geht es hier nicht um irgendeine Seitenlinie der wirtschaftlichen Entwicklung unseres Landes, sondern um eins ihrer zentralen Probleme schlechthin. Da kommt man mit Emotionen und apokalyptischen Visionen allein nicht weit. Vielmehr erscheint ein gewisses Maß an sachlichem Wissen unumgänglich. Dieses versucht das hier vorgelegte Buch zu vermitteln. Dazu gehört neben einem Einblick in die physikalischen, chemischen und biologischen Grundlagen die Darstellung der wichtigsten technischen Einzelheiten des großen deutschen Entsorgungsprojekts, vor allem in Hinblick auf Fragen der Sicherheit.
Im Interesse einer überschaubareren Darstellung beschränkt sich dieses Buch bewußt im wesentlichen auf die deutschen Verhältnisse und berücksichtigt allgemeine Fragen der Kernenergie-Nutzung nur so weit, als sie für die Entsorgung von Bedeutung sind. Insofern schließt es unmittelbar an mein gleichfalls in der ECONIT-Reihe

erschienenes Buch »So ist das mit der Kernenergie« sowie an mein allgemeine Energiefragen behandelndes ECON-Buch »Prometheus wird nicht sterben« an.

März 1978 Robert Gerwin

Im Zentrum der Energie-Diskussion

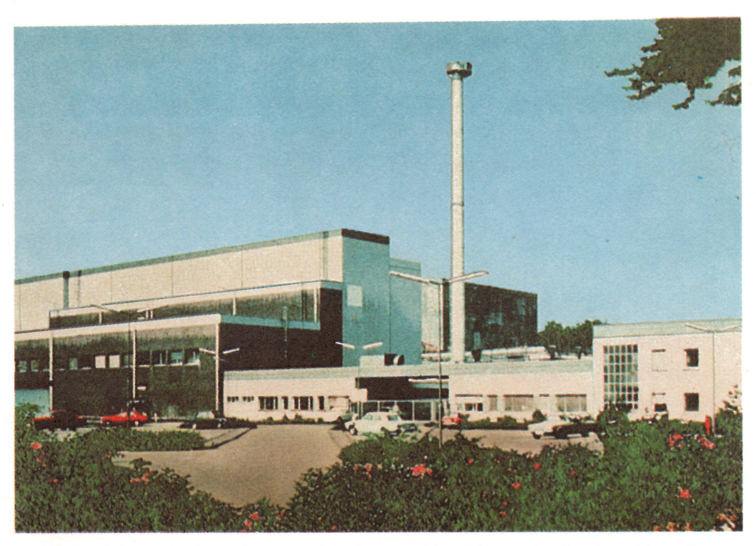
Wie das Thema Entsorgung so aktuell geworden ist

Als in Europa gegen Ende des 11. Jahrhunderts der später sprichwörtlich gewordene Kreuzzugfanatismus aufbrach, bedurfte es eines Symbols, auf das sich der überschäumende Eifer konzentrieren konnte: Jerusalem. Die Heilige Stadt von den Ungläubigen zu befreien, über ihr das Kreuz endgültig und für immer aufzurichten, wurde zur Sehnsucht von Millionen Menschen, die nur eine höchst verschwommene Vorstellung vom Orient und diesem Ort am äußersten Rand der damals gerade noch überschaubaren Welt hatten.
Wieder ist in unseren Tagen so etwas wie ein Kreuzzug aufgebrochen: die Verteufelung der Kernenergie, ja der Energie überhaupt. Und wieder bedurfte es eines Symbols, auf das sich alle Ängste und Sorgen konzentrieren ließen. Es hat sich angeboten in den Zentren für die Aufarbeitung der verbrauchten Kernbrennstoffelemente und in den Anlagen für die Beseitigung des dabei anfallenden Atommülls. Die Entsorgung der Kernkraftwerke - dieser Begriff hat sich schnell allgemein durchgesetzt - ist zum Jerusalem dieser neuen Bewegung geworden.
Selbst wer die Nutzung der Kernenergie prinzipiell für nötig und auch möglich hält - schließlich arbeiten auf der Welt bisher weit über hundert Kernkraftwerke zum Teil schon seit vielen Jahren mit hoher Verfügbarkeit und nachweislich ohne Schaden für die Umgebung -, bei der

Entsorgung kommen ihm Zweifel. Da sind plötzlich Probleme aufgetaucht, die scheinbar jahrelang verdrängt, ja, vielleicht sogar - so mag es aussehen - böswillig unterschlagen wurden. Wie war es nur möglich, daß diese Dinge so lange im Hintergrund bleiben konnten?

Kernkraftwerksentwicklung zunächst wichtiger

Man kann nicht gleichzeitig alles haben und machen wollen. Das gilt für unser persönliches Leben nicht weniger als für öffentliche Aufgaben und technische Probleme. Es gilt auch für eine so große Aufgabe wie die Nutzbarmachung einer neuen Energiequelle. So kam es gerade in der Bundesrepublik Deutschland bei der Erschließung der Kernkraft für die öffentliche Stromversorgung zunächst darauf an, zuverlässige und rationell arbeitende Kernkraftwerke zu entwickeln. Das erforderte den Einsatz aller Kräfte und viel Pioniergeist.
Diesem Zwang zur Konzentration auf das Vordringliche kam entgegen, daß sowohl in Großbritannien wie in Frankreich - von den USA gar nicht zu reden - zum Teil noch aus der Zeit der Kernwaffenproduktion große Wiederaufarbeitungsanlagen zur Verfügung standen, die noch für viele Jahre und Jahrzehnte eine hinreichende Entsorgung zu sichern schienen. Statt der Sorge um ausreichende Wiederaufarbeitungskapazität ging bis weit in die siebziger Jahre das Schreckgespenst eines ruinösen Wettbewerbs der Wiederaufarbeitungsanlagen um.
Trotzdem war man in der Bundesrepublik weitsichtig genug, sich nicht allein auf Amerika und die europäischen Partner zu verlassen. Bereits Anfang der sechziger Jahre begannen eigene Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Wiederaufarbeitung. 1965 erteilte das



Seit 1971 arbeitet in unmittelbarer Nachbarschaft des Kernforschungszentrums Karlsruhe die Wiederaufarbeitungsanlage WAK. Mit einer Verarbeitungskapazität von 35 bis 40 Tonnen Uran pro Jahr kann diese Demonstrationsanlage zwar nur wenig zur Bewältigung der in den großen Kernkraftwerksblöcken anfallenden Brennelementmengen beitragen. Doch in ihr wurden bereits Brennelemente der verschiedensten Versuchs- und Leistungsreaktoren aufgearbeitet, und die dabei gesammelten Erfahrungen sind eine wesentliche Grundlage für die Errichtung eines großen Entsorgungszentrums mit einer Jahreskapazität von 1400 Tonnen Uran.

damalige Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung den Auftrag zur Errichtung einer Versuchsanlage zur Wiederaufarbeitung in unmittelbarer Nachbarschaft des Kernforschungszentrums Karlsruhe: die WAK. Mit einer Verarbeitungskapazität von 35 bis 40 Tonnen Uran pro Jahr ist die Leistung dieser Anlage zwar nur klein, doch sie ist ausreichend, um die bei ihrer Errichtung und ihrem Betrieb gesammelten Erfahrungen unmittelbar auf eine nun zu bauende große Wiederaufarbeitungsanlage zu übertragen.

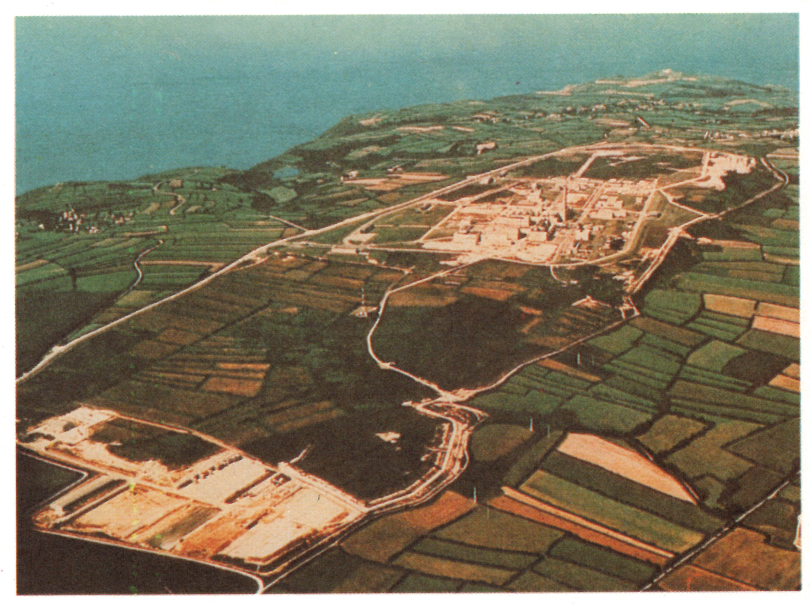
Außerdem wurde in der Bundesrepublik Mitte der sechziger Jahre ein Forschungs- und Entwicklungsprogramm zur Endlagerung radioaktiver Abfälle in Angriff genommen. Dazu erwarb die vom Bund getragene Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung bei Wolfenbüttel das ehemalige Salzbergwerk Asse und baute es zu einem Lager für radioaktiven Müll niedriger und mittlerer Aktivität aus. Auch begann man mit einem Programm zur Vorbereitung der Einlagerung von Kernbrennstoff-Spaltprodukten, also von hochgradig radioaktiven Abfällen. Die Bundesrepublik wurde damit in der Welt zum Pionier für die Verwendung von Salzstöcken zur Endlagerung des Atommülls, ein Konzept, das heute weltweit akzeptiert und angestrebt wird, soweit in den betreffenden Ländern Salzstöcke vorhanden sind.

So bestand bis Mitte der siebziger Jahre keine Veranlassung, sich wegen der Entsorgung graue Haare wachsen zu lassen. Man hatte noch Zeit. Und wenn auch hier und dort weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten notwendig erschienen, die Technik der Entsorgung galt mit Recht als beherrschbar und zuverlässig machbar.

Im Grunde genommen trifft das auch heute noch voll zu. Nur ist der Zeitpunkt der Entscheidung und Verwirkli-



Mit dem Erwerb eines ehemaligen Salzbergwerks in der Asse, ein Höhenzug im nördlichen Vorland des Harzes, südöstlich von Wolfenbüttel, im Jahre 1965, lief in der Bundesrepublik ein umfangreiches Forschungs- und Entwicklungsprogramm zur Endlagerung radioaktiver Abfälle an. Bis Mitte 1977 wurden hier 16000 Kubikmeter schwach radioaktive Abfallstoffe sowie 1300 Fässer mit mittelaktivem Abfall endgelagert. Im Bild werden gerade Fässer mit schwach aktivem Abfall angeliefert. – Die Einlagerung von hochaktivem Abfall ist hier nicht vorgesehen, doch mit elektrisch geheizten Versuchsbehältern wurde das Temperaturverhalten des Salzstocks für den Fall solcher Einlagerungen untersucht. Spaltprodukte geben auch im Endlager noch Wärme ab.

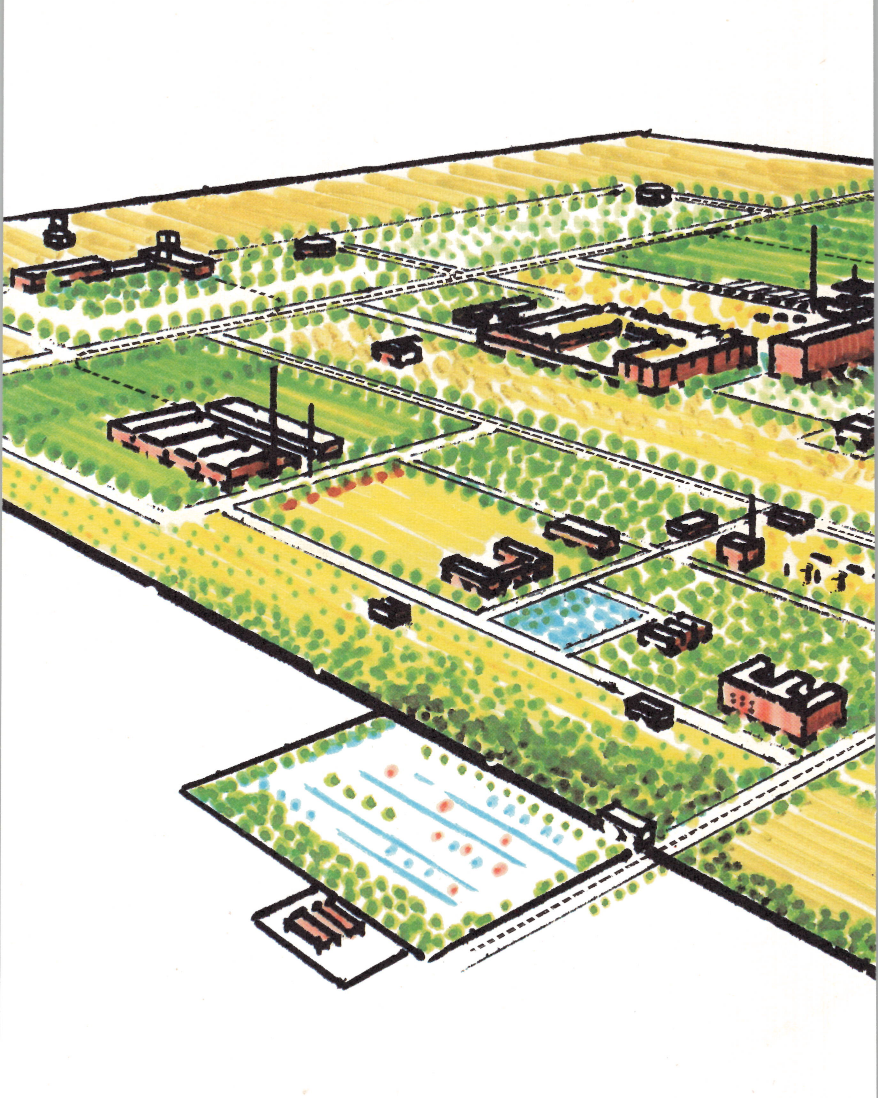


In La Hague, 25 Kilometer westlich von Cherbourg, arbeitet die französische Wiederaufarbeitungsanlage für Kernbrennstoffe mit einer Jahreskapazität von 800 Tonnen Uran. Sechs deutsche Kernkraftwerke zählen zu den Kunden von La Hague.

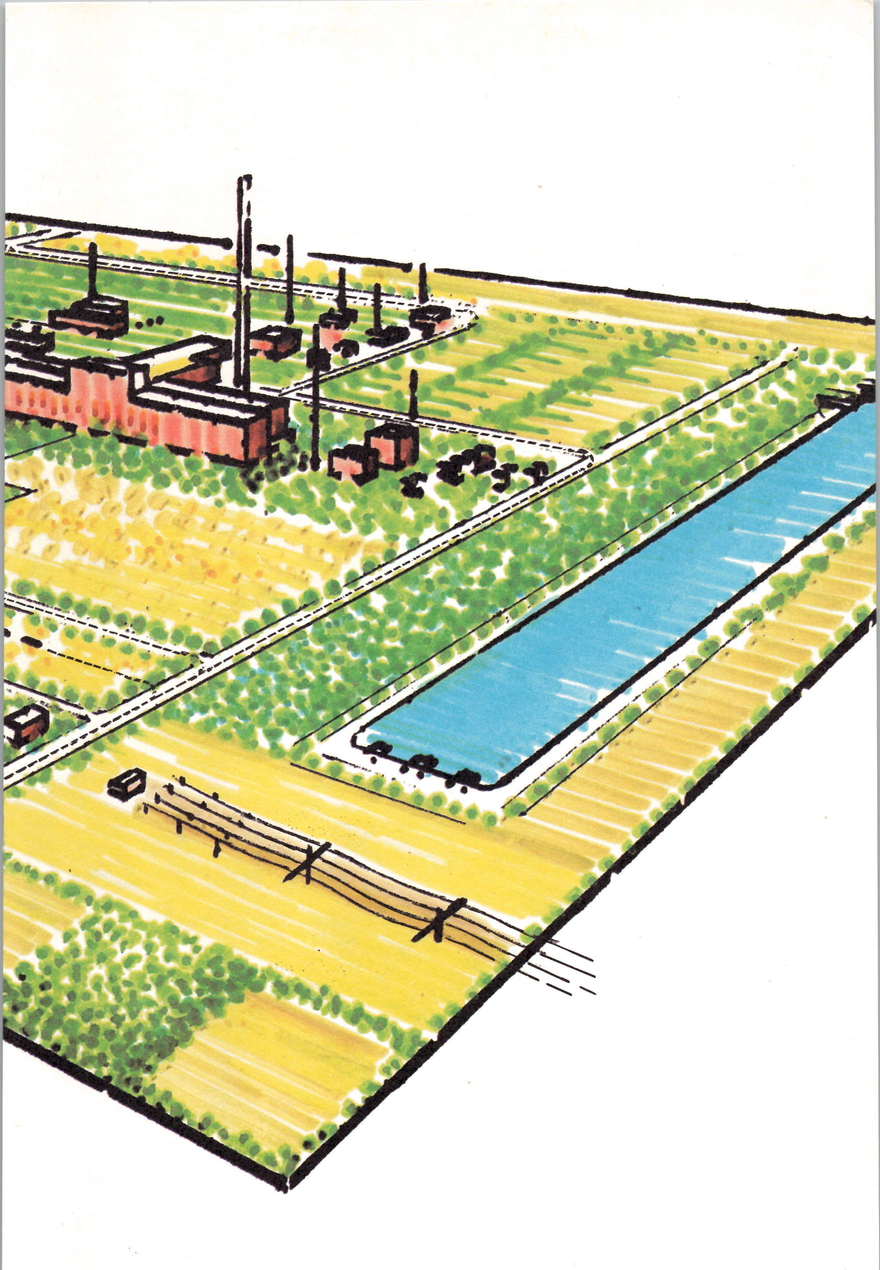
chung plötzlich beängstigend schnell herangerückt. Innerhalb kurzer Zeit hat sich das Bild derart gewandelt, daß sich die Energieversorgungsunternehmen, die Kernkraftwerke betreiben, plötzlich einem bedrohlichen Engpaß an Wiederaufarbeitungskapazität gegenüber sehen.

Mehrere Ereignisse haben zu diesem Wandel beigetragen:

- In Großbritannien wurde die Wiederaufarbeitungsanlage in Windscale, die jahrelang die Hauptlast der Wiederaufarbeitung in Europa trug, nach einem Kritikalitäts-Störfall teilweise geschlossen. Eine neue leistungsfähige, in ihrer Konzeption erheblich modernisierte Anlage befindet sich im fortgeschrittenen Planungsstadium, doch mit ihrer Inbetriebnahme kann man erst ab 1983 rechnen.
- In Frankreich wurde zwar 1976 in La Hague für die alte militärische Wiederaufarbeitungsanlage eine neue zivile Eingangsanlage, das sogenannte Head-End, in Betrieb genommen, doch nur die erste Ausbaustufe. Die nächsten Stufen sollen langsamer als ursprünglich geplant folgen.
- In den USA ist zur Zeit nur eine militärische Wiederaufarbeitungsanlage in Betrieb. In Barnwell steht zwar eine große zivile Anlage unmittelbar vor der Inbetriebnahme, doch sie entspricht noch nicht ganz den heutigen Sicherheitsnormen, und die Genehmigungsbehörden machen zusätzliche Auflagen. Sie wurde noch nach dem Konzept entworfen, daß sich die Kosten für die Wiederaufarbeitung durch den Verkauf des rückgewonnenen Urans und Plutoniums finanzieren lassen sollten. Eine Anlage in West-Valley, die bereits von 1966 bis 1972 in Betrieb war und erweitert werden sollte, ist von den Betreibern zum



So ungefähr soll das oberhalb des Salzstocks in Gorleben geplante deutsche Entsorgungszentrum aussehen. Man benötigt dafür ein Areal von etwa 12 Quadratkilometern.





In der östlichsten Spitze Niedersachsens, bei Gorleben im Landkreis Lüchow-Dannenberg, am südwestlichen Ufer der Elbe, soll das Entsorgungszentrum der Bundesrepublik Deutschland gebaut werden. Wichtige Voraussetzung dafür ist, daß sich der Salzstock im Untergrund zur Endlagerung der hochaktiven Abfälle eignet.

Verkauf angeboten worden, weil sie aufgrund heute notwendig erscheinender Sicherheitsauflagen einen wirtschaftlichen Betrieb nicht mehr als gegeben ansehen. Eine dritte Anlage, die nach einem neuen Extraktionsverfahren arbeiten sollte, konnte nicht in Betrieb genommen werden und wurde abgewrackt, weil es bei der großtechnischen Anwendung der neuen Methode unüberwindliche technische Schwierigkeiten gab.

Ursprünglich andere Sicherheitsmaßstäbe

Diese Entwicklung erscheint erstaunlich, nachdem Wiederaufarbeitungsanlagen nicht erst seit heute gebaut werden. Die Atommächte verfügen auf diesem Gebiet über eine Erfahrung, die mittlerweile an die 35 Jahre zurückreicht. Doch die ersten Wiederaufarbeitungsanlagen wurden noch unter Kriegsbedingungen oder zumindest unter dem Aspekt der Landesverteidigung gebaut. Da galten andere Sicherheitsmaßstäbe. Mit Recht verlangt man heute mehr. Man kann aber auch versuchen – und das ist die andere Seite des Problems –, von hier aus mit Hilfe übertriebener Sicherheitsforderungen die gesamte kerntechnische Entwicklung abzuwürgen.
Damit ist der Punkt angesprochen, durch den die Entsorgung so ins Rampenlicht der Aktualität gerückt wurde: Bürgerinitiativen und politisch motivierte Gruppen, die ohne Rücksicht auf gesamtwirtschaftliche Überlegungen den Bau von Kernkraftwerken verhindern wollen, haben folgerichtig erkannt, daß hier ein Angelpunkt gegeben ist, von dem aus man die Kernkraftwerksentwicklung insgesamt blockieren oder zumindest verlangsamen kann. Läßt sich der Bau eines Entsorgungszentrums mit Hilfe sachlich überzogener behördlicher Vorschriften oder

höchst anfechtbarer Gerichtsentscheidungen verhindern, ist der Zeitpunkt abzusehen, zu dem der Bau neuer Kernkraftwerke illusorisch wird.
Dieser Tendenz kommt entgegen, daß eine Wiederaufarbeitungsanlage natürlich mehr Angriffsflächen bietet als etwa ein modernes Kernkraftwerk. Während Kernkraftwerke heute schon weitgehend nach einem Baukastenprinzip gebaut werden, also überwiegend aus Komponenten bestehen, die in gleicher Dimensionierung schon in anderen Anlagen arbeiten und als erprobt gelten können, muß eine Wiederaufarbeitungsanlage von Grund auf neu projektiert und zum Teil mit Aggregaten ausgestattet werden, die in ihrem Zusammenwirken wenig erprobt sind. Da ist es nicht immer leicht, schon beim Genehmigungsverfahren die ausreichende Sicherheit unter Beweis zu stellen.
Viele Bedenken, die im Laufe der Jahre gegen Kernkraftwerke angeführt wurden, gelten heute als erledigt. So haben die Betriebsstörungen in Kernkraftwerken, die manche Kernenergie-Gegner immer noch gern als Beweis für die Gefährlichkeit der Kernkraftwerke hochstilisieren, letztlich deren Sicherheit bestätigt. Stets blieben die Auswirkungen auf die Umwelt unterhalb der für normalen Betrieb festgelegten höchstzulässigen Grenzen. Kein Mensch ist bisher durch nukleare Auswirkungen eines kommerziellen Kernkraftwerks zu gesundheitlichem Schaden gekommen.
Für die zumeist militärischen Wiederaufarbeitungsanlagen der ersten Generation, die heute zum Teil stilliegen, kann man das nur mit Einschränkung behaupten. Auch hier blieben die Auswirkungen zwar ganz auf die Anlagen beschränkt, aber es gab doch eine Reihe von Störfällen, die heute das Image der Wiederaufarbeitung belasten. Sie

machen es den Konstrukteuren der zweiten Generation dieser Anlagen schwer, die skeptische Öffentlichkeit davon zu überzeugen, daß so etwas jetzt nicht mehr passieren kann.
Belastend sind für die Entsorgungsdiskussion besonders die offenkundigen Fehlschläge in den USA. Hier hat man, zumindest aus europäischer Sicht, den Fehler gemacht, die Wiederaufarbeitung zu früh zu kommerzialisieren. Zu früh wurde sie der Privatwirtschaft überlassen. Zwar muß das Aufarbeitungs-Geschäft nicht vom Staat oder in staatlicher Regie betrieben werden. Aber der Staat muß doch sicherstellen, daß man dabei den berechtigten Sicherheits-Interessen der Öffentlichkeit gerecht wird. In den USA wird jetzt durch Eingriffe der Genehmigungsbehörden nachträglich versucht, dieser Auffassung Geltung zu verschaffen. Doch, wie immer bei nachträglichen Änderungen, sind das schmerzhafte Operationen.

Neues Konzept: Ein ganzes Entsorgungszentrum

In der Bundesrepublik Deutschland wird unterdessen ein Entsorgungskonzept verfolgt, das dem öffentlichen Charakter dieser Aufgabe voll gerecht wird und zugleich eine wesentliche Weiterentwicklung darstellt. Vorgesehen ist nicht nur der Bau einer Wiederaufarbeitungsanlage der zweiten Generation, sondern die Errichtung eines ganzen Entsorgungszentrums mit einem leistungsfähigen Zwischenlager für verbrauchte Reaktor-Brennelemente, mit einer Anlage zur Fixierung des anfallenden Atommülls und mit anschließender Endlagerung des verfestigten Mülls an Ort und Stelle in einem Salzstock tief unter dem Entsorgungszentrum. Auch eine Fabrik zur Verarbeitung des in der Wiederaufarbeitungsanlage anfallenden

Plutoniums zu neuen Reaktorbrennelementen soll in das Zentrum mit einbezogen werden.
Man erreicht durch dieses integrierte Konzept eine wesentliche Reduzierung des Gefährdungspotentials für die Umgebung, weil der Transport konzentrierter Spaltprodukte über öffentliche Straßen und Eisenbahnlinien entfällt und das Herumfahren von Radioaktivität praktisch auf den Antransport der ausgebrannten Brennelemente beschränkt werden kann. Gleichermaßen wichtig ist die Konzentrierung des bei der Wiederaufarbeitung gewonnenen Plutoniums an einer einzigen Stelle, so daß sich sein Diebstahl oder seine mißbräuchliche Verwendung mit großer Sicherheit ausschließen lassen. Schließlich spielen bei der Konzentration aller Entsorgungskomponenten auch ökonomische Gesichtspunkte eine Rolle, denn so lassen sich die aufwendigen Infrastruktur- und Sicherheitsmaßnahmen, die Überwachung der Umgebung, der Werkschutz und die Verwaltung, personal- und kostensparend zusammenfassen. - Aber wohin mit einem solchen Zentrum?
Bei der verhältnismäßig großen Anzahl von rund 200 Salzstöcken im Untergrund der norddeutschen Tiefebene erschien es zunächst nicht so schwierig, einen geeigneten Standort für das Entsorgungszentrum der Bundesrepublik zu finden. Doch es dauerte dann erschreckend lange, bis sich die Politiker an die Lösung dieses heiklen Problems herantrauten und sich zu einer Entscheidung durchrangen. Vom niedersächsischen Ministerpräsidenten wurde schließich Ende Februar 1977 das im Landkreis Lüchow-Dannenberg unmittelbar an der Grenze zur DDR gelegene Dorf Gorleben benannt.
Diese Entscheidung wurde zunächst mit Zurückhaltung aufgenommen. Nicht, daß etwa den Bewohnern der DDR

nicht zugemutet werden könne, was Bewohner der Bundesrepublik akzeptieren müssen. Es war zunächst nicht klar, wie weit sich die Aktivitätsüberwachungen ohne Inanspruchnahme von DDR-Behörden würden durchführen lassen. Zu den umfangreichen Sicherheitsmaßnahmen jeder kerntechnischen Anlage - jedes Kernkraftwerks und natürlich auch des Entsorgungszentrums - gehört die Überwachung der radioaktiven Emissionen. Dabei genügt es nicht, nur am Abluftkamin der Anlagen zu messen, man sollte auch kontrollieren, wie sich die Aktivität in der Natur verteilt. Dazu ist es erforderlich, die Aktivität der Luft und am Boden regelmäßig zu messen. Solche Maßnahmen dem deutsch-deutschen Hickhack auszusetzen erschien nicht als der Weisheit letzter Schluß. Doch bei der heute zur Verfügung stehenden Technik reicht dazu ein Gebiet von 3 Kilometer Radius.

Als wesentlichstes Kriterium für die Standortwahl des Entsorgungszentrums gilt das Vorhandensein eines Salzstocks, der hinreichend groß und noch unerschlossen ist. Er soll nicht bereits teilweise abgebaut oder sonstwie beschädigt sein. Man muß das in ihn hineinzubauende Grubengebäude ganz auf die Erfordernisse der Atommüll-Beseitigung zuschneiden, um mit hoher Zuverlässigkeit der Gefahr eines Wassereinbruchs entgegenwirken zu können. Diese Forderung wird in Gorleben - soweit sich das jetzt schon beurteilen läßt - gut erfüllt.

Ein anderes wichtiges Kriterium bei der Auswahl des Entsorgungszentrum-Standorts ist das Vorhandensein eines im wesentlichen unbebauten Areals von etwa 12 Quadratkilometern, also 3 Kilometer Breite und 4 Kilometer Tiefe. Soviel Platz ist vor allem in Hinblick auf die noch nicht bekannte optimale Lage des Zugangs zum Salzstock notwendig.

Unterdessen haben die Reaktorsicherheitskommission (RSK) und die Strahlenschutzkommission (SSK) - die obersten Sachverständigengremien in Fragen der nuklearen Sicherheit in der Bundesrepublik - in ihrer am 20. Oktober 1977 dem Bundesinnenminister übergebenen Stellungnahme festgestellt, daß das bei Gorleben geplante nukleare Entsorgungszentrum »grundsätzlich sicherheitstechnisch realisierbar« sei. Es bestünden keine sicherheitstechnischen Bedenken hinsichtlich der Eignung des vorgesehenen Standorts, und die vorgesehenen technischen und chemischen Verfahren seien so weit ausgereift oder könnten projektbegleitend entwickelt werden, daß keine Bedenken gegen ihren Einsatz bestünden.
Als Termin für die Inbetriebnahme der ersten Anlagen des Zentrums sehen die jetzigen Pläne die Jahre 1983 bis 1984 vor. Doch bis das Zentrum voll in Betrieb gehen kann, wird ein weiteres Jahrzehnt vergehen. Dann werden hier etwa 3.600 Menschen arbeiten. Bis dahin sind nach derzeitiger Schätzung und dem Geldwert von 1976 Investitionsmittel von rund 4 Milliarden DM erforderlich.
Es ist also wahrlich kein kleines Unternehmen, auf das wir uns mit der Errichtung des nuklearen Entsorgungszentrums einlassen. Aber es ist unumgänglich notwendig, wenn wir nicht vollständig auf die Kernenergie verzichten wollen. Es ist notwendig, weil nur so die bei den Kernspaltungs-Kettenreaktionen im Reaktor entstehenden langlebigen Spaltprodukte einer zuverlässigen Endbeseitigung zugeführt werden können. Außerdem läßt sich nur auf diesem Wege das in jedem Kernreaktor zwangsläufig anfallende Plutonium sinnvoll verwenden - und somit gleichfalls beseitigen. Gerade wenn man das Argument der zunehmenden Plutoniumerzeugung ernst nimmt,

kann man auf die Wiederaufarbeitung nicht verzichten. Schließlich hat die Wiederaufarbeitung auch eine erhebliche volkswirtschaftliche Bedeutung: Wenn das noch verwendbare Uran tatsächlich einer erneuten Verwendung zugeführt wird, trägt das nicht unerheblich zur Schonung der Uranerz-Vorräte bei. Nur in einem Land, das über so große eigene Uranerzlagerstätten verfügt wie die USA, kann man ernsthaft erwägen, auf die Wiederaufarbeitung für längere Zeit zu verzichten. Der amerikanische Präsident ist nicht gut beraten, wenn er das zur obersten Maxime erheben will, denn in der Praxis bedeutet das die künstliche Schaffung einer Plutoniumlagerstätte, eines Plutonium-Bergwerks.

Ohne Rücksicht auf die Allgemeinheit?

In der öffentlichen Diskussion wird von interessierter Seite oft der Eindruck erzeugt, als werde die Wiederaufarbeitung von blindwütigen Technikern und profitbesessenen Energiekonzernen ohne Rücksicht auf die Allgemeinheit vorangetrieben. Wer nicht in die apokalyptischen Visionen einer der nuklearen Zerstörung geweihten Umwelt einstimmt, gilt als blind gegenüber den elementaren Bedürfnissen der Menschen. Doch das Gegenteil ist richtig: Wer als Ingenieur, Energiewirtschaftler, Beamter oder Politiker hier Verantwortung übernimmt, tut das gerade im Bewußtsein seiner Verantwortung für die Allgemeinheit, für die Menschen in unserem Land und für unsere Gesellschaft schlechthin.
So hat beispielsweise Bundespräsident Walter Scheel am 11. Februar 1977 anläßlich der Verleihung des Theodor-Heuss-Preises festgestellt: »Es ist nicht nur die Sorge um unsere wirtschaftliche Grundstruktur, es ist auch die Sorge

um den Weltfrieden, die mich zu einem Befürworter der Kernenergie macht.«
Die Verwirklichung einer leistungsfähigen Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland kann sich durchaus als Prüfstein dafür erweisen, ob unsere Gesellschaftsordnung noch die Kraft zum Überleben hat. Der sinnvolle Gebrauch der Vernunft war der Schlüssel für die Entwicklung Europas während der letzten Jahrhunderte. Es war eine Entwicklung, mit Höhen und Tiefen zwar, doch insgesamt mit einer erstaunlichen Steigerung der Lebensqualität für breite Kreise der Bevölkerung und einem bemerkenswerten Aufschwung des geistigen Lebens. Es steht in unserem Ermessen, wieweit wir auf diese Vernunft in Zukunft verzichten wollen.

In den nachfolgenden Kapiteln soll zunächst auf einige wissenschaftliche und technische Grundlagen der Kerntechnik, soweit sie Bedeutung für Fragen der Entsorgung haben, eingegangen werden. Dazu gehört vor allem die Beschreibung des Brennstoffkreislaufs, von dem Wiederaufarbeitung und Endlagerung ein wichtiger Teil sind. Im dann folgenden Kapitel werden, analog dazu, die elementaren Fragen der kerntechnischen Sicherheit behandelt, ohne bereits auf die speziellen Sicherheitsfragen der Entsorgung einzugehen.
Daran schließt sich ein Abschnitt an, in dem das große deutsche Entsorgungsprojekt vorgestellt wird, gewissermaßen als Prototyp eines modernen leistungsfähigen Systems dieser Art. Schließlich folgt eine eingehende Auseinandersetzung mit den speziellen Sicherheitsfragen dieser Anlage und der Wiederaufarbeitung überhaupt. Ein Kapitel, in dem es vor allem um die Akzeptanz der Wiederaufarbeitungs- und Endlagerungstechnik durch

die Öffentlichkeit geht - unterdessen das Schlüsselproblem der friedlichen Kernenergienutzung schlechthin - rundet die Darstellung ab.

Worauf die Kernenergienutzung basiert

Was man über die physikalisch-technischen Grundlagen wissen sollte

Die ersten Kernreaktoren wurden nicht von Menschen gebaut. In den Uranerz-Minen von Oklo, im afrikanischen Staat Gabun, hat die Natur bereits vor etwa 1,8 Milliarden Jahren an mehreren Stellen Wasser-Reaktoren wie die unserer heutigen Kernkraftwerke in Betrieb gesetzt. In einer Aufschlämmung konzentrierter Uranerze entwickelten sich an Stellen, wo eine ausreichend große Erzmenge beieinander war, beim Eindringen von Wasser von selbst Kernspaltungs-Kettenreaktionen. Sie erstreckten sich über schätzungsweise eine Million Jahre, und nach und nach wurden dabei 1 bis 1,5 Tonnen spaltbares Uran umgesetzt.

Französische Wissenschaftler, die dieses Phänomen aufgrund einer regelwidrigen Zusammensetzung des aus Oklo kommenden Uranerzes vor einigen Jahren entdeckten, konnten dieses prähistorische Geschehen noch anhand der in der Uranerz-Mine vorgefundenen, damals erzeugten Spaltprodukte rekonstruieren. Insgesamt fanden sie hier sechs Plätze mit prähistorischen Kernreaktoren. Aufgrund ihrer Untersuchungen vermuten sie, daß auch in anderen reichen Uranerz-Lagerstätten einmal solche unkontrollierten natürlichen Kettenreaktions-Einheiten aktiv gewesen sind, ganz offensichtlich ohne daß dadurch die Welt entschieden verändert worden wäre.

Ganz so einfach ist es heute nicht mehr, zu einem energie-

liefernden Kernreaktor zu kommen. Doch das Prinzip ist das gleiche geblieben. In einer Mischung von Uran und Wasser kommt es, sobald eine hinreichend große Menge - die sogenannte Kritische Masse - beieinander ist, von selbst zu nicht mehr abreißenden Folgen von Kernspaltungen. Bei jeder Zertrümmerung eines Uran-Atomkerns werden auch immer zwei bis drei einzelne Kernbausteine - Neutronen - frei, von denen dann im Durchschnitt immer einer den nächsten Uran-Atomkern zertrümmert. Das Wasser dient dabei als Bremssubstanz für die bei den Spaltungsprozessen freigesetzten Neutronen, denn diese sind als Sprengmittel für die Atomkerne viel wirkungsvoller, wenn sie langsam in diese eindringen.
Bei unseren Kraftwerks-Reaktoren dient das Wasser aber zugleich auch als Transportmittel für die bei den Kernspaltungs-Kettenreaktionen entstehende Wärme, also das, worauf es bei dieser Technik ja eigentlich ankommt. Die Bruchstücke des gesprengten Uran-Atomkerns fliegen mit erheblicher Wucht auseinander und führen so zur Erwärmung ihrer Umgebung, des übrigen Kernbrennstoffs und damit auch des umgebenden Wassers. Hat man erst einmal die Wärme, kann man daraus wie in herkömmlichen, mit Kohle, Öl oder Erdgas geheizten Kraftwerken den gewünschten elektrischen Strom erzeugen.

Der kleine Unterschied

In der Tat besteht der Unterschied zwischen einem Kernkraftwerk und einem Kohle-, Öl- oder Erdgas-Kraftwerk nur in der Heizung. Doch dieser kleine Unterschied hat weitreichende Folgen: Bei einer Verbrennung wird der gesamte Brennstoff umgesetzt, und die Beseitigung der Reaktionsprodukte, der Verbrennungsgase und der



Uran ist ein ganz ungewöhnlich energiereicher Brennstoff.

Asche, spielt bisher noch eine untergeordnete Rolle. In einem Kernreaktor kann dagegen immer nur ein begrenzter Teil des eingesetzten Brennstoffs wirklich umgesetzt werden. Aus wirtschaftlichen und umwelttechnischen Gründen muß man den Rest durch Wiederaufarbeitung des Brennstoffs zurückgewinnen.

Ein anderer Unterschied besteht darin, daß bei Kernspaltungsprozessen nicht nur die äußeren Hüllen der Atome verändert, sondern durch die Spaltung andere Atomarten gebildet werden, etwa wie das sonst nur im Inneren der Sonne und von Sternen geschieht. Diese Spaltprodukte sind neue chemische Elemente, deren Bildung meist in mehreren Stufen abläuft und bei der zwischen den einzelnen Stufen unter Umständen erhebliche Zeiträume liegen. Die meisten der so gebildeten Atomkerne sind nicht von vornherein stabil, vielmehr erreichen sie ihre endgültige Stabilität erst, nachdem sie Kernbausteine und Energiequanten abgestoßen haben. Das ist ihre im Laufe der Zeit abklingende radioaktive Strahlung. Die Wiederaufarbeitung des in einem Kernreaktor eingesetzten, nach einigen Jahren Betrieb erst teilweise verbrauchten Urans ist also nicht zuletzt erforderlich, um die verbleibenden radioaktiven Spaltprodukte abzutrennen und einer sicheren Endlagerung bis zum endgültigen Abklingen der Radioaktivität zuzuführen. Außerdem behindern die neu gebildeten Atomarten die weiteren Kernspaltungen.

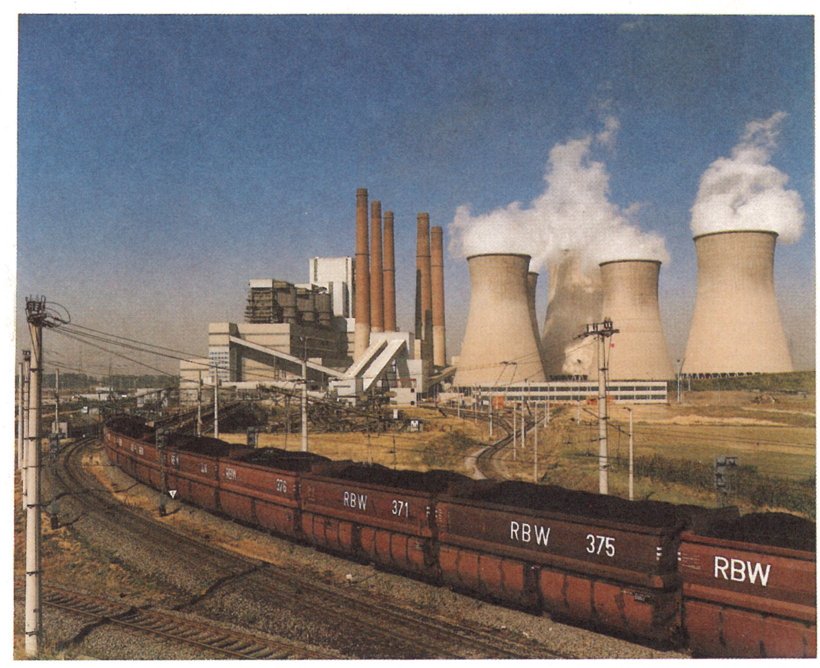
Auf diese Weise erkauft man sich aber nicht nur den Zugang zu einem weiteren, bisher ungenutzten Energiepotential, es wird auch eine Energiequelle ganz ungewöhnlich hoher Ergiebigkeit erschlossen. Bei der vollständigen Spaltung von 1 Gramm Uran mit dem Atomgewicht 235 (U-235) wird eine Energiemenge von etwa 20.000 Kilowattstunden freigesetzt. Die entsprechende Kohlenmenge

müßte 3 Millionen mal größer sein, also 3 Tonnen statt 1 Gramm betragen. Das ist kein kleiner, sondern ein ganz gewaltiger Unterschied.
Mit welchen Zeiträumen man bei radioaktiven Zerfallsprozessen unter Umständen rechnen muß, verdeutlicht auch das Oklo-Phänomen. Es konnte vor 1,8 Milliarden Jahren zu den Kernspaltungs-Kettenreaktionen in der wässrigen Uranerz-Konzentration nur kommen, weil damals im natürlichen Uran das Verhältnis zwischen dem spaltbaren Anteil mit dem Atomgewicht 235 (U-235) und dem nicht spaltbaren Anteil mit dem Atomgewicht 238 (U-238) noch erheblich günstiger als heute war.
Als vor etwa 6 Milliarden Jahren die chemischen Elemente entstanden, die später die Materie unseres Sonnensystems bildeten, betrug das Verhältnis der beiden Uran-Isotope U-238 zu U-235 wohl etwa 50:50. Beide Atomarten hatten - beziehungsweise haben bis heute - noch nicht ganz ihre endgültige Form erreicht, sie sind also noch etwas radioaktiv. Nur zerfallen sie extrem langsam und vor allem unterschiedlich schnell. Die Zeitspanne, während der sich jeweils die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Atome umgewandelt hat, die sogenannte Halbwertzeit, beträgt beim U-235 rund 700 Millionen Jahre, beim U-238 sogar 4,5 Milliarden Jahre. So ist im Laufe der Zeit mehr U-238 übriggeblieben, und der Anteil des spaltbaren U-235 im Natururan ging im Laufe der Jahrmillionen immer stärker zurück.
Vor 1,8 Milliarden Jahren, als es in Oklo von selbst zu den Kernspaltungs-Kettenreaktionen kam, lag der U-235-Anteil noch bei 3 bis 4 Prozent. Heute beträgt der spaltbare Anteil nur noch 0,7202 Prozent, und wir müssen ihn mit der Hilfe von Isotopen-Trennanlagen künstlich erhöhen, um ihn in den heutigen Leichtwasserreaktoren einzu-

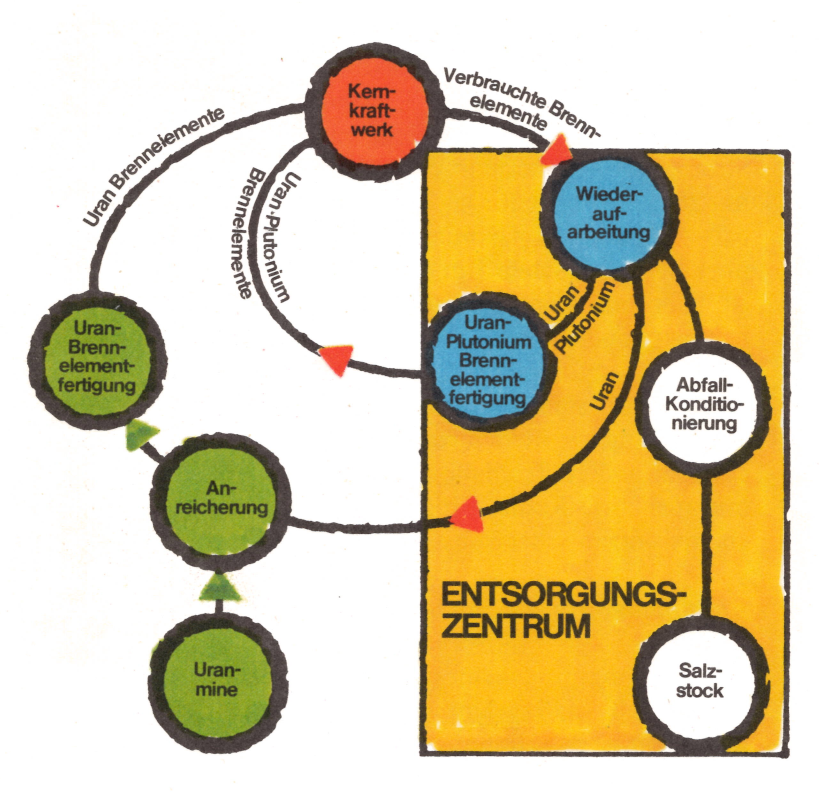
setzen. Dieser Anteil von 0,7202 Prozent gilt übrigens ganz universell, zum Beispiel auch für das Uran, das die Apollo-Astronauten im Mondgestein mitbrachten. Als die französischen Wissenschaftler im Kernbrennstoffzentrum Pierrelatte 1972 bei einer Uranerz-Lieferung aus Gabun nur einen U-235-Anteil von 0,7171 Prozent ermittelten, war das so ungewöhnlich, daß sie dahinter nur einen gewaltsamen Eingriff vermuten konnten, eben die prähistorischen Kernreaktoren, wie sich später herausstellte.

Betriebsgrundlage Brennstoffkreislauf

Jede Art von Kraftwerksbetrieb verlangt umfangreiche Infrastrukturmaßnahmen: Damit Wasserkraftwerke arbeiten können, müssen Flüsse aufgestaut und künstliche Seen angelegt werden. Für Erdgas-Kraftwerke braucht man ein weiträumiges Rohrleitungssystem, um das Erdgas von den Lagerstätten heranzuführen. Zuvor müssen diese Lagerstätten durch umfangreiche Bohrungen überhaupt erst einmal erschlossen werden. Das gleiche gilt auch für die Versorgung von Kraftwerken mit Öl, nur daß hier zusätzlich noch Raffinerien und ein weltweites Transportsystem mit Riesentankern und Häfen benötigt werden. Bei Kohle-Kraftwerken schließlich müssen Bergwerke gebaut und betrieben werden, und man braucht ein leistungsfähiges Eisenbahnsystem für den Transport der Kohle. Kein Wunder also, daß – zumindest bei den Wärmekraftwerken – die Stromerzeugungskosten zu 70 Prozent Brennstoffkosten sind, also auf die Förderung und Zulieferung der primären Energieträger Erdgas, Öl und Kohle entfallen.
Bei der Kernenergie ist der Kostenanteil für Förderung,



Auch Kohle-Kraftwerke müssen sich auf eine leistungsfähige Infrastruktur stützen. Zwischen Köln und Aachen hat man zum Teil die Landschaft »umgebaut«, um die zur Stromerzeugung benötigte Braunkohle zu gewinnen. Das Bild zeigt das Braunkohlekraftwerk Neurath im linksrheinischen Braunkohlerevier mit zwei Kraftwerksblöcken von je 600 Megawatt Leistung.



Die Erschließung des Urans für die Energienutzung bedingt den Aufbau eines ganzen Brennstoffkreislaufs mit Anreicherung, Brennelement-Fertigung, Wiederaufarbeitung, Abfall-Konditionierung und Endlagerung. Ein wesentlicher Teil dieser Aufgaben soll im Entsorgungszentrum zusammengefaßt werden.

Zubereitung und Verpackung des Brennstoffs einschließlich seiner späteren Wiederaufarbeitung und der Endbeseitigung der radioaktiven Spaltprodukte weitaus geringer. Der Anteil des gesamten Brennstoffkreislaufs an den Stromerzeugungskosten eines Kernkraftwerks beträgt nur 25 bis 30 Prozent. Das liegt zu einem guten Teil daran, daß die Energiekonzentration im Kernbrennstoff gegenüber herkömmlichen Energieträgern so ungeheuer groß ist. Hier muß man nur verhältnismäßig geringe Materialmengen handhaben, so daß zum Beispiel die Kosten für Transport und Vorratshaltung erheblich kleiner sind. Andererseits sind die Infrastrukturmaßnahmen vielfältiger und im einzelnen aufwendiger. Außerdem handelt es sich um andere Technologien, denn Uran ist ein Metall und nicht wie Kohle, Erdöl und Erdgas das Konzentrat ehemals organischer Substanz.

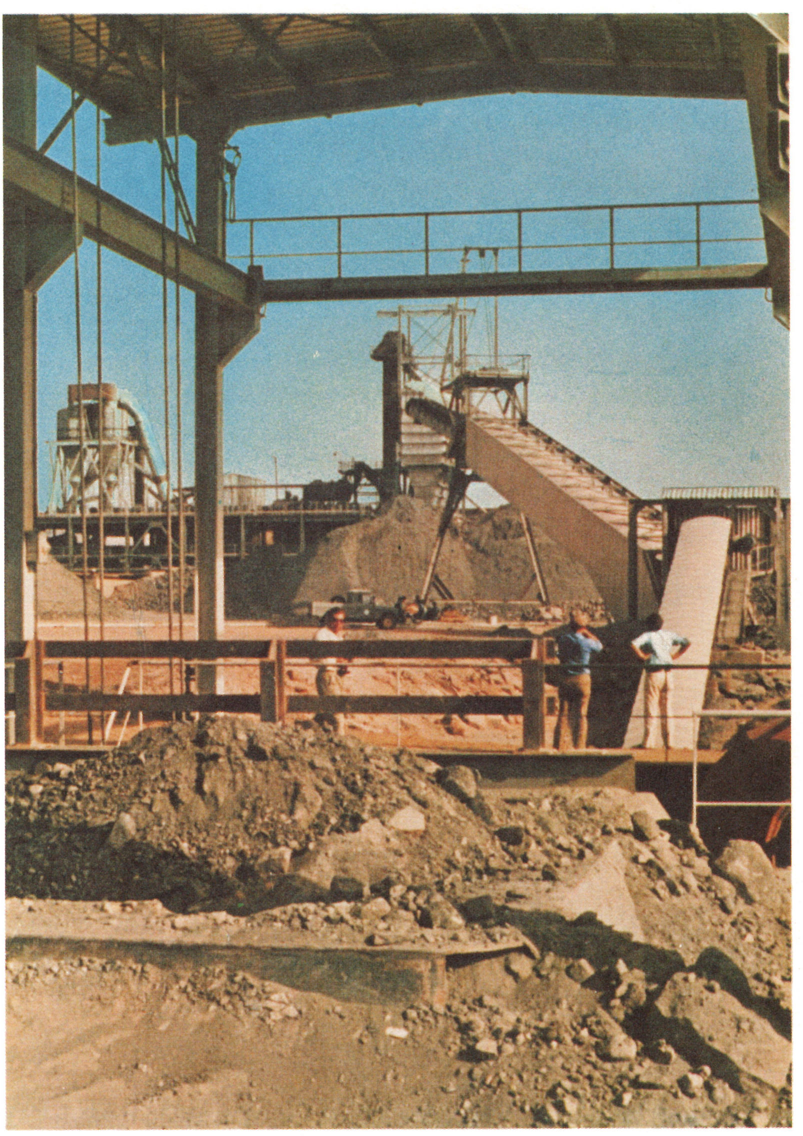
Am Anfang steht das Uranerz

Das Ausgangsprodukt des Brennstoffkreislaufs ist Uranerz, das teils im Tagebau, teils in Bergwerken gewonnen wird. Dort ist das Uranmetall fast immer an Sauerstoff gebunden, liegt also chemisch als Uranoxid vor. Im Idealfall findet man das Uranoxid in hoher Konzentration zu stahlharten größeren Nadeln oder gar tonnenschweren Blöcken auskristallisiert: die berühmte Pechblende. Doch im allgemeinen beträgt die Urankonzentration in den abbauwürdigen Erzlagerstätten einige wenige Kilogramm pro Tonne.

Dabei ist das Uran – zumindest dafür, daß es am oberen Ende in der Reihe der chemischen Elemente steht – ein gar nicht so seltenes und verhältnismäßig weit verbreitetes Metall. Es ist rund hundertmal häufiger als Silber und



Die wirtschaftlich wichtigsten Uranerz-Lagerstätten sind über 2 Milliarden Jahre alt und wurden offensichtlich in sauerstoffarmer Atmosphäre gebildet. Bei einem Urangehalt von weniger als 0,1 Prozent liegt die Ergiebigkeit solcher Lagerstätten – im Bild ein Uranerz-Tagebau in Südafrika – in der Größenordnung von einigen 10 000 Tonnen Uran.



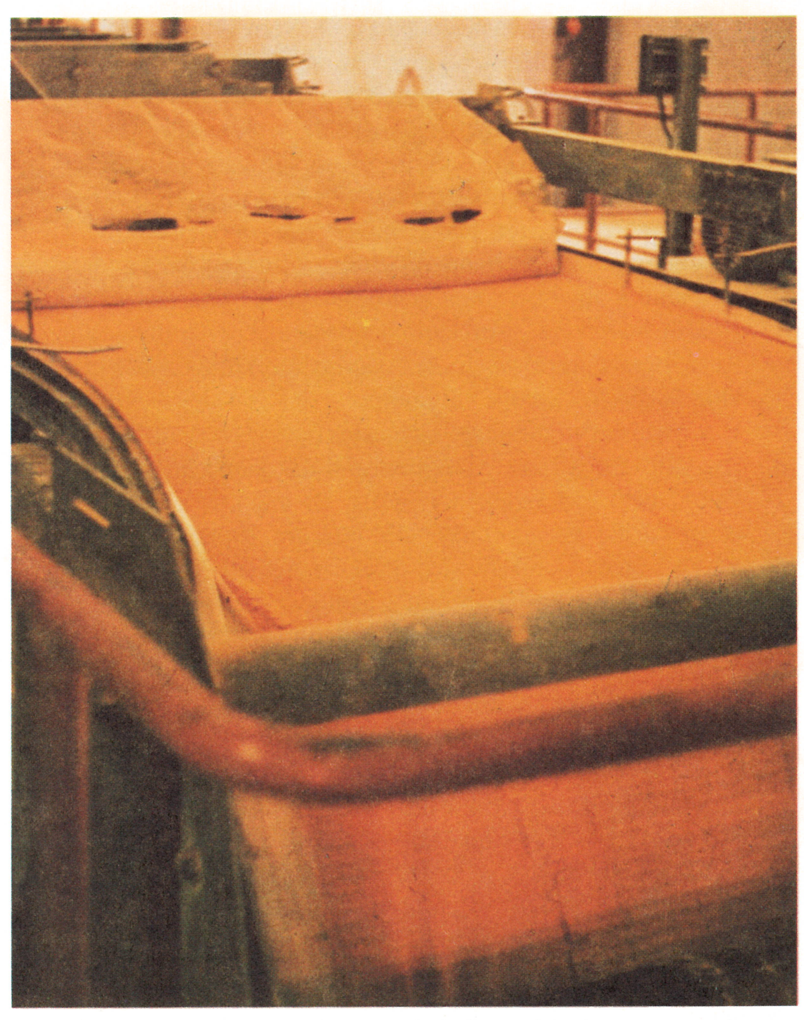
Die Aufarbeitung des Uranerzes beginnt mit der Zerkleinerung durch Brechen und Mahlen, so daß anschließend der Urangehalt chemisch ausgelaugt werden kann.

rund tausendmal häufiger als Gold. Sein Durchschnittsgehalt in der Erdrinde beträgt etwa 4 Gramm pro Tonne. In dieser Konzentration finden wir es auch im weitverbreiteten Granitgestein, und sogar im Wasser der Ozeane ist es mit einer Konzentration von einigen tausendstel Gramm pro Tonnen vorhanden. Ob man auf dieses Uran jemals zurückgreifen wird, hängt von den noch nicht absehbaren Möglichkeiten einer wirtschaftlichen Erschließung ab. Prinzipiell erscheint das jedoch nicht ausgeschlossen, und man kann keineswegs behaupten, die Kernenergie wäre wegen der begrenzten Uranvorräte nur eine Sache für wenige Jahrzehnte.

Hat man das uranhaltige Erzgestein gebrochen und zutage gefördert, wird es gemahlen und mit Säure ausgelaugt. Dabei geht das Uran in Lösung, ist jedoch noch durch Begleitstoffe verunreinigt. Die weitere Reinigung kann durch Ionenaustausch oder durch selektives Herauslösen mit Hilfe eines organischen Lösungsmittels erfolgen. In beiden Fällen erhält man am Ende dieser Prozeßstufe ein Uranoxid-Konzentrat (U_3O_8), das wegen seiner gelben Farbe als »Yellow Cake« bezeichnet wird. In dieser Form kommt das Uran auf den Weltmarkt.

Um den »gelben Kuchen« zu Kernbrennstoff aufzuarbeiten, bedarf es noch einer Reihe weiterer chemischer und physikalischer Prozesse. Zunächst wird das Rohkonzentrat in Salpetersäure aufgelöst und das Uran aus der Lösung mit Hilfe eines organischen Lösungsmittels - eine Mischung von Tributylphosphat und Kerosin - extrahiert. Dabei bleiben die noch vorhandenen Verunreinigungen bis auf wenige ppm (1 part per million = 1 zehntausendstel Prozent) zurück.

Nun ist das Uran nuklearrein, enthält also keine anderen chemischen Elemente mehr, die bei den späteren



Das Endprodukt der Uranerzaufarbeitung ist der sogenannte »Yellow Cake«, das konzentrierte Uranoxid U_3O_8. In dieser Form kommt das Uran auf den Weltmarkt zu einem Preis von heute etwa 200 DM je Kilogramm.

Kernspaltungs-Kettenreaktionen Neutronen wegfangen könnten.

Ohne Anreicherung geht es nicht

Allerdings genügt Reinigen allein nicht, um in diesem Uran wirklich zu Kernspaltungs-Kettenreaktionen zu kommen. Die Konzentration des spaltbaren Uran-Isotops U-235 ist gegenüber dem nichtspaltbaren U-238 zu gering und muß durch teilweise Trennung der beiden Isotopen künstlich erhöht werden. Dafür bieten sich vor allem zwei Prinzipien an: Entweder das eine Isotop wird mit Hilfe der Lichtenergie eines abstimmbaren Lasers angeregt, so daß es, im Gegensatz zum anderen Isotop, chemisch reagiert und auf diese Weise abgetrennt werden kann. Das ist das Laser-Verfahren. Oder aber man nutzt den geringfügigen Massenunterschied zwischen U-238 und U-235, um zu einem physikalischen Trenneffekt zu kommen, etwa indem man das mit Fluor zu einem Gas - Uranhexafluorid - aufgearbeitete Uran unter Druck durch eine poröse Wand diffundieren läßt, durch eine gekrümmte Düse preßt oder in einer Zentrifuge schleudert. Dementsprechend unterscheidet man zwischen Diffusions-, Trenndüsen- und Zentrifugen-Verfahren.
Allen Verfahren ist gemeinsam, daß der einzelne Trennprozeß vielfach wiederholt wird oder in mehreren Reihen parallel durchgeführt werden muß, sei es, weil der einzelne Trenneffekt zu gering oder der Materialdurchsatz in der einzelnen Trennstufe nicht groß genug ist.
Zum Stand der verschiedenen Techniken ist folgendes festzustellen: Das Laser-Verfahren befindet sich erst in der Labor-Erprobung, und es erscheint bisher völlig offen, ob es je einmal industriell eingesetzt werden kann.

Für das Trenndüsenverfahren gibt es bereits größere Versuchsanlagen, doch auch hier steht die Anwendung im industriellen Maßstab noch aus. Das Zentrifugenverfahren wurde in den letzten Jahren von Großbritannien, den Niederlanden und der Bundesrepublik Deutschland gemeinsam zur industriellen Reife entwickelt. Die zu diesem Zweck gegründete Firma URENCO baut bis 1982 eine Zentrifugenanlage mit einer Kapazität von 2.000 Jahrestonnen Uran-Trennarbeit auf. Das entspricht dann gerade etwa dem Kernbrennstoff-Bedarf der Bundesrepublik.
Seit nunmehr 35 Jahren angewandt wird das Diffusionsverfahren. Es ist verhältnismäßig energieaufwendig, arbeitet aber zuverlässig, wenn man das Geheimnis der porösen Membranen kennt, durch die das in jeder Stufe nur sehr geringfügig angereicherte Isotopengemisch immer wieder strömt. Sowohl die Amerikaner als auch die Russen, die Engländer, die Franzosen und wahrscheinlich auch die Chinesen bedienen sich dieser Technik. Ursprünglich zur Produktion von Bombensprengstoff entwickelt - und darum zunächst mit einem Anreicherungsgrad von schätzungsweise 98 Prozent arbeitend -, wurden die ersten Isotopen-Trennanlagen in der Zwischenzeit auf den Bedarf der Siedewasser- und Druckwasser-Reaktoren mit einer Anreicherung von etwa 3,3 Prozent umgestellt.
Der Begriff »Anreicherung« täuscht etwas darüber hinweg, daß bei allen diesen Verfahren erhebliche Mengen an abgereichertem Uran - also U-238 - übrigbleiben und erst in den künftigen Brutreaktoren ausgenutzt werden können. Bei einer Anreicherung auf 3,3 Prozent bleibt etwa das Vierfache der später im Reaktor verwendeten Kernbrennstoffmenge in den Lagern für abgereichertes Uran ungenutzt zurück.

Für den Einsatz im Reaktor

Der nächste Schritt im Brennstoffkreislauf ist die Verarbeitung des Urans zu sogenannten Brennelementen. Das aus der Anreicherungsanlage kommende Uranhexafluorid wird in Uranoxid (UO_2), ein grünlich-schwärzliches Pulver, überführt.
Daraus preßt man dann Tabletten von etwa 1 Zentimeter Durchmesser und 1 bis 2 Zentimeter Höhe. Diese werden bei einer Temperatur von 1.600 Grad gesintert, ein dem Brennen von Ziegelsteinen oder Porzellan vergleichbarer Vorgang.
Die nunmehr sehr harten Brennstofftabletten füllt man in etwa 4 Meter lange, dünnwandige Rohre aus Edelstahl, oder einer Zirkonium-Aluminium-Legierung, Zirkaloy genannt. Dann werden die jetzt als Brennstäbe bezeichneten Rohre gasdicht verschweißt. Einige zehntausend solcher Brennstäbe bilden die Brennstoffladung eines großen Kraftwerkreaktors. Um die Brennstäbe leichter handhaben zu können, faßt man jeweils einige hundert mit der Hilfe von zwei quadratischen Halterungs-Platten oben und unten zu sogenannten Brennelementen zusammen.
In Form solcher Brennelemente wird der Kernbrennstoff in das Kraftwerk transportiert. Dort werden die Elemente senkrecht stehend in einen Behälter, das sogenannte Druckgefäß, eingesetzt und darin fest eingeschlossen. Sobald das Druckgefäß mit Wasser gefüllt ist und die in die Brennelementladung geschobenen, neutronenabsorbierenden Regelstäbe gezogen werden, entwickeln sich, wie seinerzeit in Oklo, in der vom Wasser durchsetzten Kernbrennstoffladung die Kettenreaktionen. Die Brennstofftabletten werden heiß, heizen die Brennstäbe auf, und

diese geben die Wärmeenergie an das umgebende Wasser ab. Der erste, aber entscheidende Schritt der Kernenergie-Nutzung ist damit getan.
Um mit Hilfe von Wärme die gewünschte Elektrizität zu gewinnen, braucht man Dampf unter hohem Druck bei entsprechend erhöhter Temperatur. In den heutigen Kernkraftwerken werden bekanntlich zwei Wege zur Dampferzeugung eingeschlagen: Im sogenannten Siedewasser-Reaktor ist der Druck im Reaktorgefäß verhältnismäßig niedrig eingestellt. Er beträgt nur etwa 70 Atmosphären, so daß das Wasser bei einer Temperatur von etwa 280 Grad bereits im Druckgefäß siedet und den Turbinendampf liefert. Beim sogenannten Druckwasser-Reaktor steht das Wasser im Reaktorgefäß unter einem Druck von etwa 150 Atmosphären und kann selbst bei einer Temperatur von 320 Grad nicht sieden. Es wird vielmehr unter Druck mit Hilfe von Pumpen umgewälzt und gibt dann seine Wärme in separaten Wärmetauschern an einen zweiten Wasserkreislauf ab. Erst in den Wärmetauschern entsteht der Turbinendampf. Beide Reaktor-Konstruktionen weisen im Vergleich zueinander geringfügige technische und wirtschaftliche Vor- und Nachteile auf, die sich jedoch in etwa die Waage halten.
Die mit normalem Wasser arbeitenden Reaktoren, auf die wir uns hier beschränken, die Leichtwasserreaktoren, haben sich nicht nur bei uns, sondern weltweit voll durchgesetzt. Mitte 1975 betrug die elektrische Leistung der in Betrieb und Bau befindlichen beziehungsweise bestellten Kernkraftwerke auf der Welt 384.000 Megawatt. Davon entfielen nicht weniger als 337.000 Megawatt – also 88 Prozent – auf Leichtwasser-Reaktoren. Die mit Gas als Wärmetransportmittel und Graphit als Neutronen-Bremssubstanz arbeitenden Reaktoren, eine ursprüng-

lich in Großbritannien sehr bevorzugte Konstruktion, erreichten nach dieser Statistik nur eine Kapazität von 17.000 Megawatt. Der Anteil der mit schwerem Wasser arbeitenden Kernkraftwerke - bei ihnen sind die normalen Wasserstoffatome des Wassers durch doppelt so schwere Deuterium-Atome ausgetauscht mit dem Vorteil, daß eine Anreicherung des U-235 nicht notwendig ist - betrug nur 13.000 Megawatt. Die restlichen 17.000 Megawatt entfielen auf andere Reaktorkonstruktionen.

Ziel der Wiederaufarbeitung

Etwa drei Jahre lang bleibt ein Brennelement zur Energieerzeugung im Reaktor, und jedes Jahr wird ein Drittel aller Brennelemente ausgewechselt. Bei einem großen Druckwasserreaktor-Kernkraftwerk mit etwa 1.300 Megawatt elektrischer Leistung sind das etwa 35 Tonnen Uran pro Jahr. Wenn etwa 30.000 Megawatt-Tage Energie aus jeder Tonne Kernbrennstoff herausgezogen sind, hat sich die Zusammensetzung wie folgt geändert: Von den ursprünglich vorhandenen 33 Kilogramm U-235 sind nur noch etwa 8 Kilogramm vorhanden. Auch die Menge von ursprünglich 967 Kilogramm U-238 ist auf 945 Kilogramm zurückgegangen. Neu gebildet wurden etwa 32 Kilogramm Spaltprodukte und etwa 9 Kilogramm Plutonium, von denen allerdings nur etwa 6 Kilogramm spaltbar sind. Auch ein Kilogramm eines neuen Uran-Isotops - U-236 - hat sich gebildet. Außerdem gibt es noch ein knappes Kilogramm von radioaktiven Zerfallsprodukten des Urans und Plutoniums, die sogenannten Aktiniden, wie Americium, Curium und Neptunium. Diese Stoffe, soweit sie noch zur Kernenergieerzeugung in Frage kommen, einer neuen Verwendung im Reaktor zuzuführen,

den Rest aber sicher zu beseitigen, ist das Ziel der nun anstehenden Wiederaufarbeitung.
Zunächst werden die aus dem Reaktor entladenen Brennelemente für einige Monate - mindestens ein halbes Jahr - im Kernkraftwerk in einem Becken neben dem Reaktor unter Wasser gelagert. Da der größte Teil der Spaltprodukte nur kurze Halbwertzeiten hat - von Minuten, Stunden und Tagen - genügt diese erste Abklingphase, um die ursprünglich vorhandene Radioaktivität von selbst auf ein Hundertstel bis ein Tausendstel der ursprünglichen Aktivität zu reduzieren. Zum Beispiel hat das Jod-131, das für den Fall höchst unwahrscheinlicher schwerer Kernkraftwerks-Betriebsstörungen als besonders gefährdend gilt, eine Halbwertzeit von etwas über 8 Tagen. Nach jeweils 8 Tagen ist also nur noch die Hälfte der am ersten Tag vorhandenen Menge aktiv. Da sich der Halbierungsprozeß alle 8 Tage wiederholt, braucht man bei der Wiederaufarbeitungsprozedur nach etwa einem Jahr auf das Jod-131 keine Rücksicht mehr zu nehmen. Es ist praktisch nicht mehr vorhanden.
Im gleichen Maße wie die Radioaktivität der Spaltprodukte klingt in den aus dem Reaktor kommenden Brennelementen auch die von ihnen verursachte Wärmeabgabe ab. Diese als Nachwärme bezeichnete, spontane Energiefreisetzung liegt zum Zeitpunkt der Entladung der Brennelemente noch in der Größenordnung von knapp 1 Prozent der Wärmeleistung im Reaktor, beträgt also bei 30 Tonnen Kernbrennstoff noch an die 10 Megawatt. Sie sinkt dann jedoch schnell auf einige Dutzend Kilowatt ab.

Transport der ausgebrannten Elemente

Damit ist der Zeitpunkt erreicht, daß man die ausge-



Brennelement-Transportbehälter müssen selbst bei einem schweren Unfall dicht bleiben. Die vier nebenstehenden Bilder zeigen von oben nach unten den Verlauf eines in den USA durchgeführten Versuchs, bei dem ein Transportbehälter aus 600 Meter Höhe im freien Fall auf hartem Wüstenboden aufschlug. Obgleich dabei viel Dreck aufgewirbelt wurde, blieb der Behälter dicht.

brannten Brennelemente ohne zusätzliche Kühlung in speziellen Behältern transportieren kann, sei es mit Lastkraftwagen oder mit der Bahn. Äußerlich sehen diese Behälter wie Igel aus, denn zur Erhöhung der Wärmeabgabe der Oberfläche sind sie dicht an dicht mit Stiften aus Kupfer besetzt. Um den Transport der radioaktiven Zerfallswärme von den eingelagerten Elementen zur äußeren Behälterwand sicherzustellen, werden bei einigen Behälterkonstruktionen die Zwischenräume mit Wasser gefüllt. Aber auch »trockene« Konstruktionen mit eingebauten metallischen Wärmebrücken haben sich als zuverlässig und sicher erwiesen.
Eine unbedingt zu erfüllende Forderung ist dabei die, daß ein Brennelement-Transportbehälter unter allen Umständen dicht bleiben muß, auch bei schweren Verkehrsunfällen. So verlangt man, daß er einen Sturz aus 9 Meter Höhe auf eine feste Betonplatte oder aus 1 Meter Höhe auf einen spitzen Dorn übersteht und auch noch dann dicht bleibt, wenn man ihn anschließend 30 Minuten lang bei 800 Grad Celsius einem Feuer-Test unterzieht und ihn anschließend in ein Wasserbecken senkt. In den USA hat man Transportbehälter mit einer Lokomotive kollidieren lassen und vom Hubschrauber aus 600 Meter Höhe fallen lassen, doch das Ding blieb dicht.
Schließlich müssen die Behälter nach außen strahlensicher sein. Dazu sind sie innen mit Blei, Stahl, Beton oder abgereichertem Uran ausgekleidet, um die energiereiche elektromagnetische Strahlung, die sogenannte Gamma-Strahlung, abzuschirmen. Eine zusätzliche Auskleidung aus wasserstoffhaltigem Material bremst die Neutronen ab, die von den radioaktiven Aktiniden ausgehen. Dementsprechend ist das Gewicht solcher Brennelement-Transportbehälter beträchtlich. Es liegt zwischen 30 und

100 Tonnen bei einem Nutzgewicht von 1 bis 5 Tonnen Uran-Brennstoff.
Zur Wiederaufarbeitung stehen heute in Europa mehrere Anlagen zur Verfügung, zum Beispiel die von der französischen Atomenergiebehörde CEA errichtete, unterdessen aber privatwirtschaftlich geführte Anlage in La Hague, in der äußersten nordwestlichen Spitze der Halbinsel Cotentin bei Cherbourg. Viele Brennelemente aus deutschen Reaktoren sind Anfang der siebziger Jahre in der britischen Anlage bei Windscale in der Grafschaft Cumberland aufgearbeitet worden. Und schließlich ist die mit einer jährlichen Wiederaufarbeitungskapazität von 40 Tonnen Uran verhältnismäßig kleine Wiederaufarbeitungsanlage in unmittelbarer Nachbarschaft des Kernforschungszentrums Karlsruhe, die WAK, zu nennen. Sie versieht ihre Dienste seit 1971 und hat seither mehrere Brennelementladungen deutscher Kernkraftwerke aufgearbeitet. Sie war seinerzeit errichtet worden – im vorigen Kapitel wurde das schon erwähnt –, um für den Bau und Betrieb einer großen Wiederaufarbeitungsanlage in der Bundesrepublik eigene Erfahrungen zu gewinnen.
Sobald der Brennelement-Transport im Betriebsgebäude der Wiederaufarbeitungsanlage eintrifft, wird der Behälter unter Wasser gesetzt und entladen. Bereits eine Wasserhöhe von 2,5 Meter reicht zur vollständigen Abschirmung der Strahlung aus. Man kann also den Entladevorgang direkt optisch verfolgen und steuern. Auch »trockene« Behälter werden in der Regel »naß«, also unter Wasser entladen. Andernfalls erfolgt die Entladung in speziellen heißen Zellen. Als solche werden Räume bezeichnet, die durch dicke Wände und Bleiglasfenster hermetisch von der Außenwelt abgeschirmt sind, in denen man aber mit der Hilfe von fernbedienten Greifarmen die notwendigen Arbeiten verrichten kann.

Für die ausgebrannten Brennelemente folgt nun eine weitere Abklingphase in einem Wasserbecken. Dabei sorgen borhaltige Platten zwischen den unter Wasser stehenden Elementen dafür, daß es zwischen ihnen nicht erneut zu Kernspaltungs-Kettenreaktionen kommt, das Lagerbecken also nicht zu einem Reaktorkessel wird. Zwar könnte man der Gefahr einer Kritikalität auch durch entsprechend große Abstände zwischen den Brennelementen entgehen, doch das würde Platz kosten, und solche Lagerbecken sind mit ihrem Schutz gegen Auslaufen und gewaltsame Einwirkung von außen – etwa Explosionen oder Flugzeugabsturz – nicht gerade billig. Andererseits will man im Interesse einer gleichmäßigen Auslastung der nun folgenden chemischen Aufarbeitungsprozesse über einen hinreichend großen Vorrat an aufgebrauchten Brennelementen verfügen. Außerdem verringert jeder zusätzliche Wartemonat die Radioaktivität der Elemente und erleichtert entsprechend die Wiederaufarbeitung.

Der erste Wiederaufarbeitungsschritt

Sobald auch diese »Gnadenfrist« verstrichen ist, wird es mit der Aufarbeitung ernst. Einzeln werden die Brennelemente dem Lagerbecken entnommen und in der ersten Prozeßzelle mit Hilfe von Sägen oder Scheren in kleine Stücke zerlegt. Diese fallen in einen Behälter mit heißer Salpetersäure, die dann das abgebrannte Uran samt Plutonium und Spaltprodukten aus der metallischen Umhüllung chemisch herauslöst. Als Produkt dieses ersten Wiederaufarbeitungsschritts erhält man also wäßrige Salpetersäure, in der Brennstoffe und Spaltprodukte gelöst sind. Außerdem werden die gasförmigen und leicht flüchtigen Spaltprodukte dabei frei. Dazu gehören insbesondere

das Jod – zwar kaum noch das kurzlebige Jod-131, das ist abgeklungen, sondern überwiegend das langlebige Isotop Jod-129 – sowie die Edelgase Krypton und Xenon, von denen jedoch nur das Isotop Krypton-85 wegen seiner Radioaktivität Bedeutung hat. Sowohl das Jod als auch das Krypton lassen sich heute aus den Abgasen abtrennen. Bei den seitherigen Aufarbeitungsanlagen macht man das wegen der Unerheblichkeit für die Gesamtbelastung der Atmosphäre noch nicht. Bei den künftigen Großanlagen – insbesondere beim großen deutschen Wiederaufarbeitungszentrum – soll das geändert werden.
Die Abgase des Auflösevorgangs enthalten auch Bestandteile wie Stickoxide und Säuredämpfe, die zwar nicht radioaktiv, doch giftig sind. Sie werden kondensiert. Dabei fällt auch Wasser an, das überschweren Wasserstoff, das radioaktive Isotop Tritium, enthält. Das tritiumhaltige Wasser wird gesondert ausdestilliert, gelagert und später in ein Atommüll-Endlager gebracht. Das gleiche geschieht mit den ausgelaugten Hüllrohrabschnitten, die Spuren von Plutonium aufgenommen haben.

Bevor man die wäßrige Salpetersäure mit den darin gelösten Brennstoffen und Spaltprodukten den nun folgenden Extraktionsprozessen unterwirft, muß sie durch Filtern gereinigt werden. Nicht nur die Späne der vorausgegangenen mechanischen Zerlegung, auch metallische Spaltprodukt-Legierungen, die nicht in Lösung gegangen sind, befinden sich unter den Verunreinigungen. Bei hohem Brennstoff-Abbrand können je Tonne Uran bis zu 4 Kilogramm feinteilige Feststoffe anfallen. Außerdem stellt man die Brennstofflösung durch Zusatz oder Entzug von Salpetersäure oder Wasser auf die für den nächsten Verfahrensschritt optimale Uran-Konzentration ein.

Trennung des Spaltstoffs von den Spaltprodukten

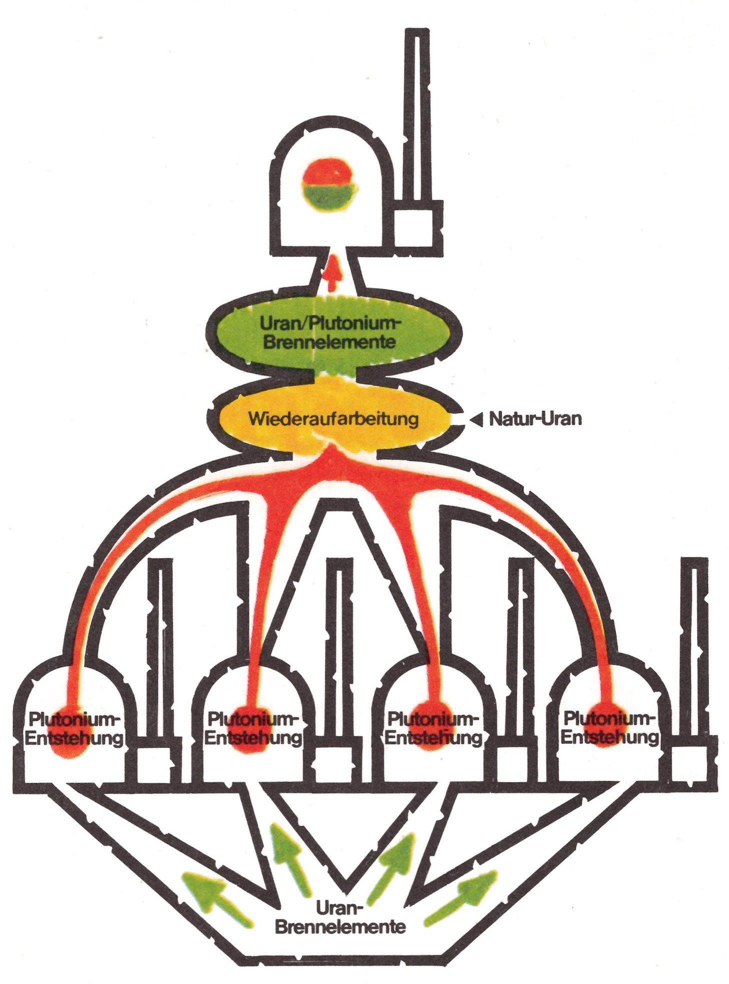
Bei der nun folgenden Extraktion macht man sich die Tatsache zunutze, daß sich ölartige, organische Flüssigkeiten nicht mit Wasser und wäßrigen Lösungen mischen. Gießt man zum Beispiel Wasser und Petroleum zusammen, vermischen sie sich nicht miteinander. Vielmehr trennen sich beide Flüssigkeiten, sobald sie zur Ruhe kommen, und bleiben voneinander streng getrennt. Das Petroleum schwimmt auf dem Wasser. Löst man nun in solchem Petroleum, auch Kerosin genannt, eine andere organische Substanz, nämlich Tributylphosphat, dann wird es in die Lage versetzt, speziell die Uran- und die Plutoniumkomponente aus der Brennstofflösung herauszulösen. Mischt man die wäßrige Brennstofflösung und das organische Extraktionsmittel durch Schütteln intensiv miteinander, wechseln der Uran- und der Plutoniumanteil in die organische Flüssigkeit hinüber. Die Spaltproduktlösung bleibt zurück.

Auf prinzipiell gleiche Weise kann man in einem weiteren Arbeitsgang auch die Urankomponente von der Plutoniumkomponente trennen. Dazu werden sie zunächst gemeinsam in eine wäßrige Phase zurückextrahiert. Durch Anwendung einer anders eingestellten organischen Phase läßt sich dann die Urankomponente allein extrahieren, und die Plutoniumkomponente bleibt in der wäßrigen Phase zurück. Anschließend werden beide Komponenten getrennt weiteren Reinigungsprozessen dieser Art unterworfen, um auch den letzten Rest der mitgeführten Spaltprodukte abzutrennen. Ihr Anteil beträgt schließlich allenfalls nur noch 0,0001 bis 0,00001 Prozent. Der Restgehalt von Plutonium im Uran muß sogar unter ein millionstel Prozent gedrückt werden. In der Praxis bedeutet

das, die einzelnen Trennzyklen laufen nicht nur einmal, sondern mehrfach hintereinander ab.
Für die Durchmischung der beiden Flüssigkeitsphasen während der Extraktionsprozesse benutzt man unterschiedliche Mischeinrichtungen. Es gibt Konstruktionen, bei denen die Flüssigkeiten abwechselnd ein Rührwerk und eine Beruhigungszone durchströmen. Bei einer anderen Konstruktion sind die Mischkammern senkrecht übereinander angeordnet, und die beiden Phasen werden durch pulsierende Druckstöße immer wieder durcheinandergewirbelt.
Aus der Spaltprodukt-Lösung kann man schließlich auch noch die Salpetersäure zurückgewinnen und zu einem guten Teil das enthaltene Wasser durch Verdampfung abtrennen. Die Rückgewinnung des Tributylphosphats ist begrenzt, weil es während der Extraktionsprozesse durch die radioaktive Strahlung zu einem gewissen Teil zerstört wird. Überhaupt müssen in den Prozeßablauf immer wieder Wasch- und Reinigungsprozesse eingefügt werden, um die chemischen Arbeitsmedien von radioaktiven Verunreinigungen zu befreien. Das führt neben den hochaktiven Spaltprodukten zu einem nicht unerheblichen Anfall an niedrig- und mittelaktiven Abfällen mit einem Aktivitätsgehalt unter 0,2 Prozent.

Wiederverwendung des Spaltstoffs

Nun läßt sich die Kernbrennstoff-Verarbeitung zu einem echten Kreislauf schließen: Das am Ende der Wiederaufarbeitung erhaltene Uranylnitrat wird in Uranoxid (UO_3) rückverwandelt und erneut in die Brennelementproduktion eingeschleust. In seinem Gehalt an spaltbarem Uran-235 entspricht dieses Wiederaufarbeitungsuran etwa dem



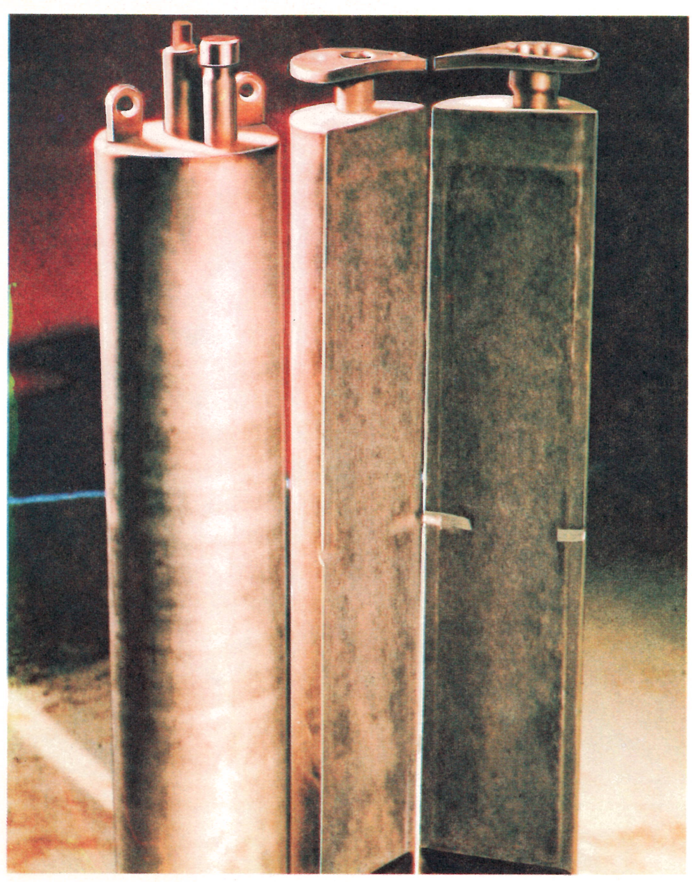
Vier Kernkraftwerke mit Druckwasser-Reaktor erzeugen soviel Plutonium, daß damit ein fünftes ohne Anreicherung mit Brennstoff versorgt werden kann.

Natururan und muß wie dieses erneut einer Anreicherungsprozedur unterworfen werden, um in Leichtwasserreaktoren Einsatz finden zu können. Allerdings enthält es im Gegensatz zum Natururan etwa 1 Prozent des nicht spaltbaren, aber radioaktiven Uranisotops U-236. Die auch sonst beim Uran vorhandene, doch vernachlässigbare geringe Radioaktivität ist also etwas erhöht.
Ganz ähnlich läßt sich die am Ende der Wiederaufarbeitung erhaltene Plutoniumnitrat-Lösung in Plutoniumoxid-Pulver (PuO_2) umwandeln und dann in die Brennelement-Fertigung einschleusen. Sein erheblicher Anteil an spaltbaren Isotopen – Plutonium-239 und Plutonium-241 – entspricht weitgehend dem Uran-235 und kann einfach durch Beimischung zur »Anreicherung« des Urans verwendet werden. Als Faustformel gilt, daß vier Druckwasser-Reaktoren einen fünften durch Rückführung des anfallenden Plutoniums mit Brennstoff versorgen können.
Praktische Versuche mit der Herstellung und dem Einsatz von plutoniumhaltigen Brennelementen werden in der Bundesrepublik seit mehreren Jahren mit gutem Erfolg durchgeführt. So bestehen heute keine berechtigten Bedenken mehr, den Plutoniumeinsatz in normalen Kraftwerksreaktoren im großen Stil zu betreiben. Ja, dies erscheint als die sicherste Methode, Plutonium dem Zugriff von Terroristen zu entziehen und es durch sinnvolle Verwendung wieder zu vernichten. Nur so vermeidet man, daß sich das Plutonium auf der Erde immer mehr anhäuft.
Bisher war man beim Plutoniumeinsatz in normalen Kernkraftwerken zurückhaltend, weil das anfallende Plutonium für die Erstausstattung der großen Brüter-Kernkraftwerke reserviert bleiben sollte. An dieser Absicht hat

sich zwar prinzipiell nichts geändert, doch zweifellos ist die Brüter-Entwicklung in letzter Zeit etwas in den Hintergrund getreten, und man neigt heute eher dazu, das Plutonium unmittelbar zur Schonung unserer Energiereserven einzusetzen. Immerhin lassen sich dadurch insgesamt etwa 34 Prozent des Natururan-Bedarfs und 27 Prozent der Anreicherungsarbeit, also des Aufwands für die Isotopentrennung, einsparen.

Einlagerung der Spaltprodukte

So bleibt schließlich noch die Frage: Was geschieht mit den radioaktiven Abfällen? Heute werden die hochaktiven Spaltprodukt-Lösungen überall auf der Welt lediglich in gekühlten Tanks verwahrt. Sicher ist das nur eine vorläufige, aber doch durchaus sichere und akzeptable Methode, denn je länger man die Spaltprodukt-Lösungen lagert, um so mehr klingt ihre Radioaktivität ab und um so einfacher ist die spätere, endgültige Beseitigung in geologischen Formationen. Dafür bietet sich nach dem heutigen Stand der Technik an, die Spaltproduktlösungen vollständig einzudicken, dann mit glasbildenden Stoffen und Glassplittern zu versetzen und schließlich zu Glas zu verschmelzen. Das flüssige Glas gießt man in Edelstahlzylinder und schweißt es darin nach dem Erstarren ein. Zuletzt werden diese umhüllten Glasblöcke in Granit- oder Steinsalz-Formationen eingelagert.
Salz eignet sich dafür besonders, weil es ein guter Wärmeleiter ist und die von dem eingeschweißten Glasblock abgegebene Wärmeenergie leicht fortleiten kann. Außerdem beweist die Existenz eines Salzstocks, daß dieser seit einigen hunderttausend oder gar Millionen von Jahren nicht mit Wasser in Berührung war, also mit dem natür-



Ein anderes Verfahren zur sicheren Einschließung der hochaktiven Spaltprodukte, das sogenannte PAMELA-Verfahren, besteht darin, die Spaltprodukte zu Phosphatglas aufzuarbeiten und dieses in der Form von Kugeln in eine Metallmatrix einzubetten. Die Glaskugeln haben einen Durchmesser von etwa 5 Millimeter und enthalten etwa 30 Gewichtsprozent Spaltprodukte. Das Matrix-Material – Blei – sorgt für eine gute Ableitung der Wärme zu den Außenwänden des Stahlzylinders, in die es zusammen mit den radioaktiven Glasperlen eingegossen wurde. Das Bild zeigt eine nichtaktive aufgeschnittene Attrappe.

lichen Stoffkreislauf keinen Kontakt hatte. Das aber berechtigt zu der Annahme, daß dieser Salzstock auch in Zukunft nicht an dem sonst auf der Erdoberfläche stattfindenden Stoffaustausch teilnimmt. Wenn ein zu Einlagerung der Glasblöcke angelegter Stollen im Salzstock nach Ende der Einlagerung wieder mit Salz verfüllt und versiegelt ist, kann man das Lager fast vergessen.
Im übrigen zeigt eine realistische Betrachtung, daß die Zeitspannen bis zum endgültigen Abklingen der Spaltprodukt-Radioaktivität nicht ganz so lang sind, wie oft vermutet wird. Bereits nach hundert Jahren fällt die Aktivität des radioaktiven Strontium-90, die im wesentlichen die Aktivität der Spaltprodukte bestimmt, steil ab und ist nach etwa 1.000 Jahren praktisch vollständig verschwunden. Die Aktivitätskurve des Caesium-137 und des Ytrium-90, die nächstaktiven Spaltprodukt-Elemente, liegt um Größenordnungen darunter. Nach einer Zeitspanne von etwa 500 Jahren treten zwar die aus den Plutonium-Isotopen hervorgegangenen Aktiniden Americium und Neptunium in den Vordergrund und verlangsamen deutlich das weitere Absinken der Aktivität. Trotzdem wird nach etwa 600 bis 700 Jahren ein Aktivitätswert unterschritten, der etwa dem von Uranerz-Rückständen entspricht. Die Aktivität der hochaktiven Spaltprodukte hat also praktisch den in der Natur vorkommenden Wert des Ausgangsmaterials, des Urans, erreicht.
Die Abfälle mittlerer und niedriger Aktivität haben den Vorteil, daß sie nur sehr wenig - oder praktisch keine - Wärme entwickeln. Man kann sie einfach durch Zusatz von Bindemitteln wie Zement oder Bitumen verfestigen und dann in Tonnen unterirdisch lagern. In der Bundesrepublik wurde dazu das ehemalige Salzbergwerk Asse, in der Nähe von Wolfenbüttel, hergerichtet. In Frankreich



Bei Abfällen mit niedriger Aktivität genügt es, sie in Fässern zu verfestigen, etwa durch Zementierung, und die Fässer – hier im ausgebauten Salzbergwerk Asse – unterirdisch zu lagern. Die Fässer werden schichtweise mit Salz überdeckt.

und Großbritannien werden die mittelaktiven Abfälle nach der Verfestigung im Atlantik in mindestens 2.000 Meter Tiefe versenkt. Schwach aktive flüssige Abfälle wurden dort früher durch Rohre direkt ins Meer geleitet. Angesichts der ohnehin von Natur aus in den Ozeanen vorhandenen Radioaktivität und der extremen Verdünnung der Abfälle nach der Einleitung erschien ein solches Vorgehen zunächst völlig ungefährlich. Nachdem jedoch die Möglichkeit einer Aktivitätsanreicherung durch biologische Organismen nicht von der Hand zu weisen ist, wird jetzt auf diese sehr einfache Methode der Aktivitätsbeseitigung verzichtet. In Amerika und Kanada werden mittel- und niedrigaktive Abfälle zum Teil noch einfach im Boden vergraben. Aber auch hier laufen Entwicklungsarbeiten, um nach deutschem Vorbild Salzstöcke zur Endlagerung zu erschließen.
Als in der Uranerz-Mine von Oklo der Bereich der prähistorischen Kernreaktoren ausgegraben wurde, stellten die damit beschäftigten Wissenschaftler nicht ohne Überraschung fest, daß sich die seinerzeit gebildeten Spaltprodukte, obgleich unverpackt, noch alle an Ort und Stelle – dem Platz ihrer Entstehung – befanden. Dabei bot das Oklo-Uranerzlager keinesfalls die idealen Einlagerungsbedingungen wie etwa die heute als Atommüll-Deponien vorgesehenen Salzlagerstätten.
So betrachtet war das Oklo-Ereignis ein extrem langfristiges – und daher äußerst aufschlußreiches – Experiment mit einer radioaktiven Abfalldeponie. Sein Verlauf hat gezeigt, daß eine dauerhafte Beseitigung der radioaktiven Folgenprodukte der friedlichen Kernenergienutzung bis zum endgültigen Abklingen durchaus möglich ist und daß alle Schreckvisionen, die darüber verbreitet werden, getrost ins Reich der Fabel verwiesen werden können.

Die Fundamente der Sicherheit

Tatsachen im Dickicht echter und vermeintlicher Gefahren

Als Anfang der fünfziger Jahre im Süden von Paris, bei dem Dorf Saclay, von der französischen Atomenergiebehörde CEA ein großes Kernforschungszentrum errichtet wurde, unternahmen die Verantwortlichen einen sehr überzeugenden Versuch, die Bevölkerung in den umliegenden Dörfern von der Ungefährlichkeit des Unternehmens zu überzeugen. Jeweils im Zentrum der Dörfer wurden »Wetterhäuschen« mit Strahlungsmeßgeräten aufgestellt. Nun konnten die Bewohner selbst sehen, was da an Radioaktivität zu ihnen herübergeblasen wurde. Geschah es dann wirklich, daß die Geräte einmal mehr als gewöhnlich ausschlugen, war das fast immer auf Kernwaffenversuche zurückzuführen, deren radioaktiver Fall-out sich nach einem Weg um die halbe Erde hierher verirrt hatte. Jedenfalls überzeugte der geringe Ausschlag der Zeiger mehr als beschwichtigende Worte, daß man es mit einem ungefährlichen Nachbarn zu tun hatte.
In der Tat tut sich der Mensch schwer mit den echten und vermeintlichen Gefahren des Kernenergie-Zeitalters, weil ihm ein Sinnesorgan für die unmittelbare Wahrnehmung von Strahlengefahren fehlt. So muß er sich auf Meßinstrumente und, was ihm noch schwerer fällt, auf das Urteil von Fachleuten verlassen. Wird er dann noch widersprüchlich informiert, etwa weil Fachleute ihr Ansehen für das Verfechten persönlicher Überzeugungen,

doch nicht von Tatsachen mißbrauchen, ist das Aufkommen von Ängsten und der Wunsch, sich dagegen zu wehren, nur allzu verständlich. Da hilft nur, sich selbst etwas Fachwissen anzueignen, um sich ein eigenes Urteil bilden zu können.
Nachfolgend sind einige Grundtatsachen der hier zum Tragen kommenden Sicherheitsprobleme dargestellt. Auf die speziellen Sicherheitsaspekte von Wiederaufarbeitungsanlagen, insbesondere des geplanten Entsorgungszentrums, wird im übernächsten Kapitel im Detail eingegangen.

Strahlenbelastung durch die Natur

Wir sind ständig von Natur aus einer nicht unerheblichen Strahlenbelastung ausgesetzt, und es ist erstaunlich, wie der menschliche Körper auch ganz erhebliche Unterschiede dieser natürlichen Strahlenbelastung offenkundig ohne Schwierigkeiten verkraftet. So werden die oberen Schichten der Lufthülle unserer Erde ständig von einer kosmischen Strahlung bombardiert, deren Sekundärteilchen bis zum Erdboden vordringen und hier zu einer jährlichen Strahlenbelastung führen, die auf Meereshöhe etwa 30 Milli-rem beträgt. – Dabei genügt es zu wissen, daß das rem die Maßeinheit für die biologische Strahlenwirkung, die Strahlungsdosis – und das Milli-rem der tausendste Teil davon – ist. 600 bis 800 rem gelten als tödlich. Da bei der Strahlenbelastung durch die kosmische Strahlung die Abschirmwirkung der Lufthülle eine wichtige Rolle spielt, steigt die Jahresdosis von 30 Milli-rem mit der Höhe über Meeresniveau an. Wenn jemand von Hamburg nach München zieht, also von Meereshöhe auf rund 500 Meter über dem Meeresspiegel, erhöht sich seine Jah-

resdosis auf rund 50 Milli-rem. Bei ständigem Aufenthalt in 1.500 Meter Höhe muß mit 100 Milli-rem pro Jahr gerechnet werden, also dem dreifachen Wert auf Meereshöhe. Bereits wer innerhalb eines Hochhauses vom Erdgeschoß in den zehnten Stock zieht, steigert seine jährliche Strahlendosis um 1 Milli-rem.

Einen weiteren Beitrag zur natürlichen Strahlenbelastung des Menschen leistet die sogenannte terrestrische Strahlung. Sie geht von der in der Erdkruste vorhandenen natürlichen Radioaktivität aus. Die daraus resultierende Strahlungsdosis hängt stark von den geologisch-mineralogischen Verhältnissen im Untergrund ab, so daß von Ort zu Ort erhebliche Unterschiede auftreten. Für die Bundesrepublik ist sie mit durchschnittlich 60 Milli-rem pro Jahr anzusetzen, doch zum Beispiel werden in Schwaben nur etwa 45 Milli-rem, in Oberfranken dagegen etwa 70 Milli-rem erreicht. Dabei geht ein nicht unerheblicher Teil der Strahlenbelastung auf das Konto der Räumlichkeiten, in denen wir die meiste Zeit des Tages zubringen. Wer in einem Holzhaus wohnt, wird im Jahr um etwa 10 Milli-rem weniger belastet. Wer dagegen ständig von Beton umgeben ist, muß mit 10 Milli-rem mehr rechnen. Extrem hohe Werte von zusätzlich 30 Milli-rem wurden vor kurzem im Saarland und in Rheinland-Pfalz in Häusern gemessen, die aus Bims- und Schlackensteinen gebaut sind.

Zu diesen naturbedingten äußeren Bestrahlungen tritt noch eine innere Bestrahlung, die ausgelöst wird durch die Radioaktivität, die mit der Nahrung oder mit der Atemluft in den Körper gelangt. Vor allem das in der Natur vorkommende Kalium-40, das wir bevorzugt mit Milchprodukten aufnehmen, verursacht eine mit der Wirkung der äußeren Bestrahlung vergleichbare Belastung.

Dafür sind insgesamt noch einmal etwa 20 Milli-rem pro Jahr anzusetzen, so daß sich die gesamte natürliche Strahlenbelastung für durchschnittliche Verhältnisse in Mitteleuropa mit 110 Milli-rem pro Jahr errechnen läßt. Vor diesem Hintergrund muß man alle künstlichen Strahlenbelastungen sehen, auch die durch kerntechnische Anlagen.

Strahlenbelastung durch unsere Zivilisation

Neben der natürlichen Strahlenbelastung, der wir uns nicht entziehen können, setzen wir uns selbst seit langem auch einer zivilisationsbedingten künstlichen Strahlenbelastung aus. Dabei sind an erster Stelle die medizinischen Strahlenanwendungen zu nennen, also Röntgendiagnostik, Nuklearmedizin und Strahlentherapie. Dieser Anteil beträgt in der Bundesrepublik, auf den einzelnen Bundesbürger umgerechnet, etwa 50 Milli-rem pro Kopf und Jahr. Für den Fall-out der Atombombenversuche muß man noch einmal 8 Milli-rem pro Jahr ansetzen. Schließlich entfällt ein Beitrag von 2 Milli-rem pro Jahr auf sogenannte Kleinquellen, wie radioaktive Leuchtfarben und die Abstrahlung des Fernsehers. Auch längere Luftreisen können wegen der erhöhten kosmischen Strahlung in dünneren Luftschichten zu einer zusätzlichen Strahlenbelastung von 1 bis 2 Milli-rem pro Jahr führen.
Einer erheblichen zusätzlichen Strahlenbelastung unterliegen auch Raucher, weil sich in Tabakpflanzen die natürlich vorkommenden Radioisotope Blei-210 und Polonium-210 besonders anreichern. Diese verdampfen beim Abbrennen des Tabaks und gelangen unmittelbar in die Luftwege und in die Lunge. Es läßt sich berechnen, daß

das bronchiale Epithelgewebe eines mittleren Rauchers einer Strahlenbelastung von etwa 1.000 Milli-rem pro Jahr zusätzlich ausgesetzt ist. Zusätzlich belastet sind auch Personen, die in Lagerhäusern in der Nähe von Düngemitteln arbeiten. Der Einfluß des leicht radioaktiven Phosphatdüngers kann zu einer zusätzlichen externen Strahlenbelastung von 50 Milli-rem pro Jahr führen.
Der Beitrag der friedlichen Nutzung der Kernenergie ist demgegenüber verschwindend gering. Er erreicht selbst bei Personen, die in unmittelbarer Nachbarschaft von Kernkraftwerken wohnen, nicht einmal 1 Milli-rem pro Jahr, ist also auf keinen Fall größer, als wenn jemand vom Parterre in den 10. Stock zieht, einmal im Jahr nach Amerika fliegt oder viel Zeit vor dem Farbfernseher verbringt. Auf den Bundesdurchschnitt berechnet, beträgt die durch Kernenergieanlagen bedingte Strahlenbelastung sogar nur winzige Bruchteile dieser 1 Milli-rem. Für Wiederaufarbeitungsanlagen gilt das in gleichem Maße, denn an ihre Genehmigungs-Auflagen werden in Hinblick auf die Radioaktivitätsabgabe die gleichen strengen Maßstäbe gelegt wie an Kernkraftwerke.

Wie Strahlung biologisch wirkt

Was ist eigentlich radioaktive Strahlung, und wie wirkt sie biologisch? – Radioaktivität besteht bekanntlich darin, daß von Atomen einer bestimmten Substanz – eines Radionuklids oder Radioisotops, wie man sagt – atomare Strahlungsteilchen ausgesandt werden. Verglichen mit ihrer Winzigkeit, legen diese Strahlungsteilchen – es handelt sich dabei entweder um Bausteine des Atoms oder um reine Energie-Quanten – recht erhebliche Strecken zurück und können auf ihrem Weg unter Umständen Ver-

änderungen in der Mikrostruktur der Materie bewirken. Durchqueren sie lebende Zellen, lösen sie eine unmittelbare oder eine mittelbare chemische Wirkung aus. Sie können komplizierte Moleküle wie etwa Enzyme, die für die Steuerung der Stoffwechselvorgänge in der Zelle verantwortlich sind, verändern oder aber Makromoleküle, die in den Chromosomen der Speicherung der genetischen Information dienen, zerschlagen. Sie können aber auch einfach Wassermoleküle aufspalten, so daß sie freie Radikale bilden, die dann chemisch in die Lebensprozesse der Zelle eingreifen.
Soweit sich solche Schädigungen auf die Chromosomen, also das genetische Material, erstrecken, können sie sich erst in der nächsten Generation des entsprechenden Individuums als sogenannte genetische Schäden auswirken. Da bereits die Änderung eines einzelnen Moleküls in der Nachkommenschaft zu einer Mutation, also zu unter Umständen erheblichen erblichen Veränderungen führt, ist die Strahlenempfindlichkeit für genetische Schäden besonders groß. Andererseits verfügt die Natur über sehr wirkungsvolle Auswahl- und Reparaturmechanismen, um genetische Schäden zu eliminieren und zu korrigieren, bevor negative Auswirkungen eintreten. Sie muß ja ständig mit den Einflüssen der natürlichen Strahlenbelastung sowie mit sehr vielen chemischen, gleichfalls mutagen wirkenden Einflüssen fertig werden. Außerdem können genetische Veränderungen ja auch positive Wirkungen haben, wie die Entwicklungsgeschichte des Lebens auf der Erde zeigt.
Das eigentliche Problem besteht hier darin, daß man bei der Beurteilung solcher Fragen nur von verhältnismäßig groben Experimenten mit hoher Strahlenbelastung ausgehen kann. Bei den sehr kleinen Strahlungsdosen, um die

es hier geht, lassen sich keine meßbaren Effekte beobachten. Man kann nur versuchen zu extrapolieren, also von stärkeren Bestrahlungen auf sehr geringe theoretisch umzurechnen. Da sind der Spekulation Tür und Tor geöffnet.
Die anderen Strahlungseffekte wirken sich bereits in der jetzigen Generation aus. Sie umfassen den gesamten Körper unter Ausschluß der Keimzellen, also den sogenannten somatischen Körperbereich. Hier ist wiederum zwischen Frühschäden und Spätschäden zu unterscheiden. Frühschäden zeigen sich nur nach relativ hohen Strahlungsdosen. Für sie gibt es eindeutig Schwellenwerte, die überschritten werden müssen, damit es überhaupt zur Manifestation von Schäden kommen kann. Bei den Spätschäden ist die Existenz von Dosisschwellen umstritten. Sie treten - wenn überhaupt - erst nach Latenzzeiten von vielen Jahren auf, und die ursächliche Verknüpfung von Strahlung und Schaden läßt sich meist nur durch sehr anfechtbare statistische Berechnungen belegen. Es liegt nahe, daß die Kernkraftwerksgegner hier am ehesten Ansätze zur Kritik finden.
Daß dabei nicht immer wissenschaftlich korrekt vorgegangen wird, hat sich zum Beispiel bei der Auseinandersetzung mit Ernest Sternglass, Professor an der Universität Pittsburgh, USA, gezeigt. Er behauptete vor einigen Jahren unter anderem, beim Kernkraftwerk Dresden-I, im US-Staat Illinois, sei in der Richtung, in der der Wind bevorzugt die radioaktiven Abgase trägt, die Säuglingssterblichkeit deutlich erhöht gewesen. Eine genaue Analyse der von Sternglass verwendeten Daten zeigte jedoch, daß der Wind während des von ihm gewählten Beobachtungszeitraums überwiegend in andere Richtung geblasen hatte. Sternglass mußte sich von seriösen Wissenschaftlern

vorwerfen lassen: »Es ist sehr deutlich, wie durch geeignete Auswahl des Zahlenmaterials ein bestimmtes Ergebnis erzielt wird.«

Das zusätzliche Krebs-Risiko

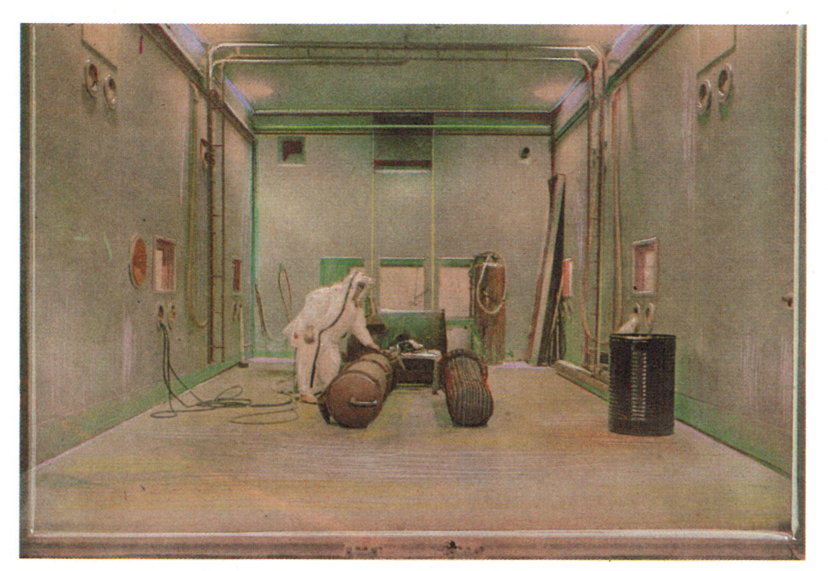
Die Möglichkeit von Strahlen-Spätschäden ist nach bisherigem Wissen praktisch nur bei Leukämie und Krebs gegeben. Alles Wissen, das wir beim Menschen über die Auslösung dieser Krankheiten durch Strahlung haben, basiert jedoch auf Erfahrungen mit einmaligen Bestrahlungsdosen von 50.000 bis 200.000 Milli-rem und mehr, wie sie bei den Atombombenabwürfen auf Hiroshima und Nagasaki aufgetreten sind. Von solchen Werten auf eine Bestrahlungsdosis von 1 Milli-rem pro Jahr zu schließen, ist sehr problematisch, denn mit großer Wahrscheinlichkeit besteht bei abnehmender Dosis keine lineare Abhängigkeit: Die Wirkung von 1 Milli-rem ist wahrscheinlich geringer als ein Fünfzigtausendstel der Wirkung von 50.000 Milli-rem.
Außerdem spielt die Zeitspanne, während der eine Bestrahlungsdosis aufgenommen wird, eine erhebliche Rolle. Durch ein einfaches Tierexperiment läßt sich das beweisen: Bestrahlt man Mäuse einmalig mit einer Dosis von 1.000 Röntgen, ist ihr Tod unausbleiblich. Teilt man die Dosis von 1.000 Röntgen dagegen in Portionen von 50 Röntgen auf und gibt diese kleineren Portionen an 20 Tagen hintereinander, sterben von zehn Mäusen nur noch drei.
So kommen alle ernstzunehmenden Abschätzungen für das Leukämie- und Krebsrisiko als Folge von 1 Milli-rem pro Jahr zusätzlicher Strahlenbelastung zu extrem kleinen Werten. Selbst im sogenannten BEIR-Report, in dem

von unrealistisch hohen Annahmen ausgegangen wurde, wird bei 1 Milli-rem pro Jahr die Zahl der bei 1 Million Menschen zusätzlich an Leukämie und Krebs Erkankenden mit 0,1 bis 0,2 pro Jahr, also 1 bis 2 Menschen innerhalb von 10 Jahren angegeben. Dabei muß man berücksichtigen, daß von 1 Million Menschen ohnehin pro Jahr 3.000 an Krebs und 50 an Leukämie erkranken.
Neuere Erkenntnisse über den Einfluß des Zeitfaktors haben dazu geführt, diese bereits sehr geringen Risikowerte noch einmal um einen Faktor 5 bis 10 zu reduzieren. In einem UNO-Bericht wird das zusätzliche Krebsrisiko durch eine zusätzliche Strahlungsdosis von 1 Milli-rem pro Jahr für 1 Million Personen mit 0,01 also 1 Person in 100 Jahren, angegeben. Diesen Wert hat sich auch die Bundesregierung im Deutschen Bundestag bei einer Antwort auf eine große Anfrage zur friedlichen Nutzung der Kernenergie am 16. Juli 1975 zu eigen gemacht. Sie erklärte: »Für die Gesamtbevölkerung ist bei einer zusätzlichen mittleren Lebenszeit-Dosis von 70 Milli-rem pro Kopf der Bevölkerung ein zusätzliches Strahlenrisiko von weniger als ein Dreihunderttausendstel des derzeitigen Krebs-Risikos in der Bundesrepublik Deutschland zu erwarten.«
Dabei ist zu berücksichtigen, daß die zusätzliche Belastung der Bevölkerung durch Kernenergieanlagen noch bei weitem nicht der hier angenommenen Dosis von 1 Milli-rem pro Jahr entspricht. Sie wird selbst bei sehr optimistischer Weiterentwicklung des Kernkraftwerkbaus bis zum Jahr 2000 allenfalls 0,2 Milli-rem pro Jahr für die Gesamtbevölkerung erreichen. Die Belastung der Anwohner eines Kernkraftwerks wird auch dann nicht über 1 Millirem pro Jahr liegen. Die Wahrscheinlichkeit, vom Blitz getroffen zu werden, ist für diesen Personenkreis noch fünfzigmal größer.

Diese Zahlen zeigen, wie sinnlos es ist, überhaupt von einem Strahlenrisiko durch Kernenergie-Anlagen zu sprechen. Denkt man daran, daß die Wahrscheinlichkeit, durch einen Verkehrsunfall den Tod zu finden, fünfundzwanzigtausendmal größer ist, muß man den 700 deutschen Wissenschaftlern recht geben, die im Dezember 1975 in einem Offenen Brief an die Abgeordneten des Deutschen Bundestages schrieben:
»Die verbleibenden Risiken werden von uns ernst genommen. Sie erscheinen vertretbar, wenn man sie am zivilisatorischen Gesamtrisiko mißt, und sie sind kleiner als manche Risiken, die um geringerer Vorteile willen in Kauf genommen werden.«

Was die staatlichen Verordnungen zulassen

Selbstverständlich kann der Schutz der Bevölkerung vor Radioaktivität und Strahlung nicht dem Gutdünken einzelner Persönlichkeiten oder Unternehmen überlassen bleiben. Darum gibt es in er Bundesrepublik ein Atomgesetz und eine Strahlenschutzverordnung, die ständig dem letzten Stand der Erkenntnis und Technik angepaßt werden. Die darin festgelegten höchstzulässigen Dosiswerte für die in kerntechnischen Betrieben Tätigen und für die Gesamtbevölkerung basieren auf den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutz-Kommission ICRP, deren Mitglieder anerkannte, unabhängige Wissenschaftler aus der medizinischen Strahlenkunde, dem Strahlenschutz, der Physik, der Biologie, der Genetik, der Biophysik und der Biochemie sind. Ihr Fachwissen, ihr Verantwortungsbewußtsein gegenüber der Gesellschaft und ihre persönliche Integrität in Zweifel zu ziehen ist nicht nur in hohem Maße unfair, es ist einfach dumm.



Das Betriebspersonal kerntechnischer Anlagen ist im allgemeinen nur dann einer erhöhten Strahlenbelastung ausgesetzt, wenn Maschinenteile ausgebaut werden müssen. Bei der radioaktiven Reinigung, der Dekontamination, fällt leicht aktives Waschwasser an, das nur kontrolliert an die Umgebung abgegeben werden kann oder eingedickt und endgelagert werden muß. Das Bild zeigt die Dekontaminierung eines Wärmetauschers im Kernforschungszentrum Karlsruhe.

Diese Kommission hat ihren Strahlenschutz-Empfehlungen den Grundsatz vorangestellt, jede unnötige Bestrahlung sei zu vermeiden, da jede Bestrahlung ein gewisses Risiko einschließe. Auch in der bundesdeutschen Strahlenschutzverordnung steht dieser Grundsatz ganz vorn. In ihrer Neufassung von 1977 wurde diese Forderung noch präziser gefaßt und bereits auf die Planung ausgedehnt. Es heißt dort, wer eine Tätigkeit im Sinne der Strahlenschutzverordnung ausübe oder plane, sei verpflichtet, »jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt zu vermeiden und unterhalb der in dieser Verordnung festgelegten Grenzwerte so gering wie möglich zu halten«. Bereits in der Vergangenheit ist in der Bundesrepublik nach diesem Grundsatz verfahren worden. So betrug die mittlere Dosisbelastung des Betriebs- und Wartungspersonals der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) auch während der anfänglichen schwierigen Zeit der Einarbeitung nie mehr als 23 Prozent der nach der Strahlenschutzverordnung zulässigen Werte. Mit zunehmender Erfahrung ließ sich die mittlere Dosisbelastung des WAK-Personals auf weniger als 7 Prozent des zulässigen Werts reduzieren. Die Radioaktivitätsemissionen der deutschen Kernkraftwerke - und damit die Belastung der Umgebung betragen im allgemeinen nur etwa 10 Prozent der genehmigten höchstzulässigen Werte, liegen aber im Einzelfall oft noch erheblich darunter. So betragen die Radioaktivitätsemissionen 1973 beim Kernkraftwerk Lingen nur 0,4 Prozent, beim Kernkraftwerk Würgassen nur 6,7 Prozent und beim Kernkraftwerk Stade nur 7,2 Prozent der bei der Genehmigung durch die Aufsichtsbehörden aufgrund der Strahlenschutzverordnung festgelegten Werte.

Für Mitarbeiter im Kontrollbereich kerntechnischer Anlagen - das ist normalerweise der Bereich, in dem radioaktive Stoffe gehandhabt werden - lassen die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP und die Bestimmungen der deutschen Strahlenschutzverordnung eine Dosis von 5 rem pro Jahr zu. Dabei darf in einem Kalendervierteljahr eine Strahlendosis von 2,5 rem nicht überschritten werden. Aufgrund langjähriger Erfahrungen mit beruflich strahlenexponierten Personen kann dieser Wert für Einzelpersonen als mit Sicherheit ungefährlich gelten, noch dazu, da dieser Personenkreis ständig medizinisch überwacht wird und nach dem Grundsatz »Jede unnötige Bestrahlung vermeiden« die tatsächliche Belastung erheblich darunter bleibt. Die Beschäftigung von werdenden Müttern und Jugendlichen im Kontrollbereich von Kernenergieanlagen läßt die Strahlenschutzverordnung ohnehin nicht zu.
Für eine ganze Bevölkerung möchte die ICRP die maximal zulässige Dosis von 5 rem auf 30 Jahre gestreckt wissen, entsprechend 170 Milli-rem pro Jahr, etwa das Eineinhalbfache der natürlichen Strahlenbelastung von 110 Milli-rem. In der Bundesrepublik ist man bei diesem Dosiswert jedoch wesentlich restriktiver als die ICRP. Da gilt das 30-Milli-rem-Konzept.
Das bedeutet: An der ungünstigsten Einwirkungsstelle der aus einer Kernenergieanlage abgeleiteten Radioaktivität - also etwa dort, wo die vom Kamin ausgehende Abluftfahne auf den Boden trifft oder wo sich radioaktiv belastetes Abwasser konzentrieren kann - darf die Strahlenbelastung für eine ständig dort anwesende Person nicht mehr als 30 Milli-rem pro Jahr erreichen. Dabei werden sämtliche wichtigen Belastungswege wie etwa die Anreicherung von Radioaktivität durch Mikroorganis-

men berücksichtigt. Die daraus resultierende Begrenzung der Radioaktivitätsabgabe gilt unabhängig davon, ob die betreffende Stelle tatsächlich besiedelt ist oder landwirtschaftlich genutzt wird. Die Abgabe von radioaktivem Jod – das ist die einzige Ausnahme – muß so niedrig gehalten werden, daß die gesamte Strahlenbelastung der Schilddrüse 90 Milli-rem pro Jahr nicht überschreitet. Dabei sind allerdings auch Anreicherungseffekte etwa längs des Pfades »Luft – Gras – Kuh – Milch – Schilddrüse eines Kleinkindes« zu berücksichtigen.
Bestehen mehrere kerntechnische Einrichtungen an einem Standort wie etwa in einem Entsorgungszentrum, wo Anlagen zur Wiederaufarbeitung, Kernbrennstoffverarbeitung und Behandlung der radioaktiven Abfälle beisammen liegen, dürfen die Werte des 30-Milli-rem-Konzepts insgesamt nicht überschritten werden. Es handelt sich dabei also, wie schon früher ausgeführt wurde, nicht um eine Vorschrift für einen Höchstwert je Einzelanlage, sondern um den Höchstwert je Standort.

In der Praxis viel geringere Werte

Nun darf man aber diesen Höchstwert von 30 Milli-rem nicht mit der tatsächlichen Belastung in der Umgebung einer Kernenergieanlage gleichsetzen. Da für die ungünstigste Einwirkungsstelle von den pessimistischsten Annahmen – etwa für die Wind- oder Strömungsverhältnisse, den Verdünnungseffekt und die Isotopen-Zusammensetzung – ausgegangen wird und noch die ungünstigste Einwirkungsstelle je nach Windrichtung und Wetterlage innerhalb weiter Räume wandert, liegt die tatsächliche zusätzlich erreichte Strahlenbelastung in der Nachbarschaft eines Kernkraftwerks, wie das bereits ausgeführt

wurde, bei weniger als 1 Milli-rem pro Jahr. Das aber ist weniger als ein Hundertstel der natürlichen Strahlenbelastung durch die kosmische und die terrestrische Strahlung und die Aufnahme von natürlicher Radioaktivität mit unserer Nahrung. Da bleibt wenig Spielraum für Panikmache, wenn man die Dinge realistisch betrachtet.
Im übrigen sei daran erinnert, daß in der Natur unvergleichlich größere Erhöhungen der Strahlenbelastung auftreten. So gibt es zum Beispiel in Frankreich umfangreiche Granitbezirke, in denen die mittlere natürliche Jahresdosis 300 Milli-rem beträgt. Rund 7 Millionen Menschen wohnen hier. Nichts deutet auf eine gesundheitliche Benachteiligung dieser Menschen gegenüber der übrigen Bevölkerung Frankreichs hin. Im indischen Staat Kerala existiert ein 55 Kilometer langer Küstenstreifen mit noch erheblich höherer natürlicher Strahlenbelastung, weil hier sehr viel Monazitsandstein lagert. Etwa 60.000 Personen erhalten hier Jahresdosen von mehr als 500 Milli-rem, davon wiederum 4.500 Menschen mehr als 1.000 Milli-rem und 470 mehr als 2.000 Milli-rem, also fast das Zwanzigfache der natürlichen Strahlenbelastung in der Bundesrepublik. Im Rahmen umfangreicher Untersuchungen der Internationalen Atomenergieorganisation IAEO in Wien wurden hier der Fruchtbarkeitsindex, die Kindersterblichkeit, die Zahl der Fehl- und Mehrfachgeburten sowie die Zahl der sichtbaren Mißbildungen über zwei Jahre lang beobachtet. Dabei waren keinerlei Unterschiede gegenüber normal strahlenbelasteten Bevölkerungsgruppen dieser Region zu erkennen. Erst bei einer Jahresdosis von mehr als 2.000 Milli-rem, ihr waren 22 Ehepaare ausgesetzt, ließen sich Abweichungen beobachten.
Aber darf man die natürliche und eine künstliche Strah-

lenbelastung so einfach gleichsetzen? Selbstverständlich gibt es in der physikalischen – und damit auch in der biologischen – Wirkung keine Unterschiede zwischen der Strahlung natürlicher und künstlicher Radioisotope. Nur werden durch die Kerntechnik andere radioaktive Stoffe freigesetzt als in der Natur. Sie verhalten sich chemisch anders und haben andere Verweilzeiten im Körper. Neben der radiologischen gibt es ja auch eine biologische Halbwertzeit, die darauf beruht, daß der Stoffwechsel des Körpers von sich aus dafür sorgt, daß aufgenommene Radioaktivität abgebaut und ausgeschieden wird, einfach weil es sich hier um chemische Fremdstoffe handelt. Doch diese Zusammenhänge sind sehr wohl zu überschauen und bergen keinerlei überraschende Gefahr in sich.

Wie ist das mit dem Plutonium?

Musterbeispiele für echte und vermeintliche Gefahren bietet zweifellos auch das Plutonium-Problem: Einerseits ist es ein großer Glücksfall, daß das im Natururan zu über 99,2 Prozent vorhandene, nicht spaltbare Uran-238 beim Reaktorbetrieb nebenbei zum Teil in weitgehend spaltbares Plutonium verwandelt wird. Darauf basiert die Entwicklung der künftigen Brutreaktoren mit einer rund siebzigmal besseren Ausnutzung des eingesetzten Natururans. Auch bei den heutigen Kernkraftwerksreaktoren läßt sich bereits der Brennstoffbedarf durch den Einsatz von Plutonium wesentlich reduzieren. Andererseits gilt Plutonium als besonders radiologisch giftig, so daß seine Verarbeitung besondere Schutzmaßnahmen erfordert. Außerdem erschließt es Staaten an der Schwelle zur Atommacht die Möglichkeit, ohne aufwendige Isotopen-

Trennanlagen in den Besitz von Kernwaffen zu kommen. Plutonium erscheint als besonders verlockendes Objekt zur terroristischen Erpressung. Zumindest garantiert der Zugang zu Plutonium höchste Aufmerksamkeit in den Massenmedien und in der breiten Öffentlichkeit, wie sich in der Vergangenheit wiederholt gezeigt hat.
Doch über die Giftigkeit des Plutoniums - und damit sein Gefährdungspotential - gehen in der Fachliteratur die Auffassungen sehr auseinander. Es gibt Darstellungen von geradezu apokalyptischen Dimensionen, aber auch harmlose Szenarios sind zu finden. Dabei hängt alles von den Voraussetzungen ab, die man für die Verbreitung des Plutoniums annimmt. Es stimmt zwar, daß Plutonium fünf- bis zehnmal giftiger als Radium ist, da es sich noch spezifischer als Radium in den blutbildenden Zentren des Knochenmarks ansammeln kann. Doch es ist gar nicht so einfach, Plutonium in schädlichem Umfang in einen Organismus zu bringen.
Die Reichweite der vom Plutonium ausgehenden Strahlung beträgt im Gewebe nur Bruchteile eines zehntel Millimeters. Sie wird also bereits in der obersten Hautschicht absorbiert und hat hier praktisch keine Wirkung. Plutonium kann allenfalls über eine Wunde, durch den Verdauungstrakt oder durch Einatmen zur Wirkung kommen. Aber auch dabei gibt es ganz erhebliche Einschränkungen. So kann Plutoniumoxidstaub in der Lunge nur dann zu einer Schädigung führen, wenn er sich in der Lunge niederschlägt und hier lange Zeit unbemerkt haften bleibt. In Wirklichkeit wird aber nahezu aller Plutoniumstaub wieder ausgeatmet. Bei schwereren Vergiftungen, wie sie gelegentlich bei der Atomwaffenherstellung und in Wiederaufarbeitungsanlagen passiert sind, konnte man durch Lungenwäsche nachhelfen.

In gleicher Weise wird Plutoniumoxidpulver durch den Verdauungstrakt unverändert ausgeschieden. Da müssen schon erhebliche Mengen aufgenommen werden, um zu einer, dann überwiegend chemisch bedingten, Schädigung zu führen. Lösliche Plutoniumverbindungen, die mit der Nahrung in den Verdauungstrakt gelangen, werden in unlösliche Salze umgewandelt und gleichfalls wieder herausgeschwemmt, so daß die orale Giftigkeit des Plutoniums um mehrere Größenordnungen geringer ist als die des Radiums. Nur über eine Wunde kann lösliches Plutonium in den Blutkreislauf und zu den gefährdeten Organen gelangen. Aber auch dann läßt sich das Plutonium durch chemische Komplexbildung bevorzugt zur Ausscheidung bringen.
So reduziert sich die Gefährlichkeit des Plutoniums weitgehend auf die – gewissermaßen konventionelle – chemische Giftigkeit der Schwermetalle, wie sie etwa auch beim Blei vorhanden ist. Zwar gibt es Theorien darüber, wie alte Kulturen durch bleihaltige Trinkgefäße und Blei-Wasserleitungen untergegangen sind, doch nach wie vor können wir mit Blei leben.

Durch praktische Erfahrung bestätigt

Daß die Kenntnis über dieses verhältnismäßig günstige Verhalten des von Haus aus giftigen Plutoniums mehr als nur Theorie ist, zeigt die praktische Erfahrung: Seit fast 35 Jahren sind an die 100 Tonnen Plutonium in mehr als 50 Laboratorien und Fabriken verarbeitet worden. Etwa 30.000 Menschen waren daran beteiligt. Aber obgleich es dabei verschiedentlich zur Inkorporation von Plutonium gekommen ist, ließ sich in keinem Fall eine darauf zurückgehende Schädigung feststellen. Mehr als 300 Personen

haben zum Teil bis zum Zehnfachen der zulässigen Ganzkörperbelastung – und teilweise seit bald 30 Jahren – Plutonium in ihrem Körper, ohne daß gesundheitliche Veränderungen zu beobachten sind. In den USA stehen mehr als 3.000 Personen, die einmal mit Plutonium umgegangen sind, unter regelmäßiger ärztlicher Beobachtung. Doch es sind bisher keine irgendwie gearteten Schäden festgestellt worden. Schon gar nicht gab es einen Todesfall.
Eine andere, für die Gefährdung durch Plutonium gleichfalls sehr günstige Randbedingung ist die geringe Neigung von Plutoniumstaub, sich in der Atmosphäre zu halten und wieder aufwirbeln zu lassen. Schwer wie Blei schlägt er sich an jeder verfügbaren Oberfläche nieder. Einmal auf einer Oberfläche abgesetzt, ist die Wahrscheinlichkeit der Wiederaufwirbelung äußerst gering.
Daß das wirklich so ist, hat sich unter anderem beim Absturz von zwei mit Plutoniumbomben beladenen Flugzeugen gezeigt, einmal bei Palomares in Spanien im Januar 1966 und zum anderen bei Thule in Nordgrönland im Januar 1968. Obgleich die Plutonium-Sprengsätze der Bomben durch einen Aufschlagbrand zerstäubt wurden, waren die plutoniumverseuchten Flächen nur relativ klein, nämlich einmal nur etwas über 2 und das andere Mal nur 0,1 Quadratkilometer. Meßbare Inkorporationen an Personen traten in beiden Fällen nicht auf, weder bei der betroffenen Bevölkerung in Palomares noch bei den Bergungs- und Aufräum-Mannschaften.
In gleicher Richtung liegen die Beobachtungen bei den sechs bisher in Oklo nachgewiesenen prähistorischen Kernreaktoren. Obgleich das dort vor rund 1,8 Milliarden Jahren gebildete Plutonium heute praktisch zerfallen ist, kann man noch heute anhand der radioaktiven Folgepro-

dukte nachweisen, daß es damals im Reaktorkern blieb. Dabei war die konzentrierte Uran-Lagerstätte, in der sich die prähistorischen Kernreaktoren ausbilden konnten, nicht vom natürlichen Wasserkreislauf abgeschnitten. Die Anwesenheit von Wasser war ja notwendig, damit es im Uran überhaupt zur Ausbildung von Kernspaltungs-Kettenreaktionen kommen konnte. Ähnliche Beobachtungen lassen sich in Uranerz-Lagerstätten dicht unter der Erdoberfläche machen, wo durch Einwirkung der kosmischen Strahlung gleichfalls im Laufe der Jahrmillionen einige Kilogramm Plutonium gebildet worden sind. Auch dieses Plutonium blieb beieinander.

Mit diesen Anmerkungen soll das Plutonium-Problem nicht verniedlicht werden. In Wiederaufarbeitungsanlagen und Brennelement-Fabriken, in denen Plutonium in größeren Mengen gehandhabt wird, muß man, ähnlich wie bei Kernkraftwerken, eine vollständige Abschließung von der Umgebung vorsehen, ein Containment, das auch bei Gewaltanwendung von außen oder im Innern, bei Flugzeugabsturz oder Explosionen, intakt bleibt. Doch man sollte auch auf übertriebene Panikmache verzichten, die möglicherweise gerade zum gegenteiligen Effekt führt.

So hat ausgerechnet in den USA, wo im Verlauf der letzten Jahrzehnte schätzungsweise 100 Tonnen Plutonium zu Atomsprengsätzen verarbeitet worden sind, die von Kernenergie-Gegnern geschürte Sorge zu einer erheblichen zeitlichen Verzögerung bei der Verarbeitung von Plutonium zu Brennelementen geführt. Das Ergebnis dieser Verzögerung ist aber praktisch eine nicht unbedeutende Anhäufung von Reaktor-Plutonium, die sich, wenn die Schwierigkeiten einmal überwunden sind, nicht so schnell wird abbauen lassen. Der sicherste Ort für Pluto-

nium ist der Reaktor. Dort kann man es nicht stehlen, und vor allem: Dort wird es durch Spaltung wieder abgebaut. Während die Aktivität der normalen Spaltprodukte nach 600 bis 700 Jahren auf das Niveau von Uranerz abgesunken ist und sie damit ihr Gefährdungspotential endgültig verloren haben, dauert beim Plutonium die Abklingzeit der Radioaktivität rund hundertmal länger. Nur durch Verarbeitung des Plutoniums im Reaktor zu kurzlebigeren Spaltprodukten läßt sich dem begegnen. Das ist auch der Grund, weshalb es im Sinne einer langfristigen Risikobetrachtung unsinnig wäre, abgebrannte Brennelemente ohne Wiederaufarbeitung in einem Endlager zu deponieren. Nach spätestens 1000 Jahren entstünde so ein »ideales« Plutonium-Bergwerk.

In der Hand von Terroristen

So bleibt schließlich noch die Möglichkeit zu diskutieren, daß Terroristen versuchen, sich in den Besitz von Plutonium zu setzen. Wer wirklich einen hochwirksamen Plutonium-Sprengkörper haben möchte, würde aber besser daran tun, sich in den Besitz einer der 20.000 nuklearen Granaten und Bomben zu setzen, die, rings über die Welt verteilt, in den Atomwaffen-Depots lagern. Solche Sprengkörper können zwei Mann transportieren, sind handlich verpackt und funktionieren, wenn man die Konstruktion des Mechanismus kennt, mit großer Zuverlässigkeit. Immerhin scheint die Bewachung dieser Sprengkörper so wirkungsvoll zu sein, daß bisher Diebstahl oder Mißbrauch offenbar nicht vorgekommen sind. Sollte es nicht möglich sein, die nur an wenigen Stellen gelagerten und noch zu lagernden Reaktor-Plutoniumvorräte in gleicher Weise zu sichern?

Zudem läßt sich mit dem aus Kernkraftwerks-Brennelementen gewonnenen Plutonium aus prinzipiellen physikalischen Gründen bei weiten nicht die hohe Sprengwirkung wie mit dem in speziellen Reaktoren bei geringem Abbrand der Brennelemente gewonnenen Bomben-Plutonium erreichen: Der Anteil an nicht spaltbaren, den Sprengstoff »verschmutzenden« Plutonium-Isotopen ist zu groß, doch eine Explosion ist möglich, wie Experimente in jüngster Zeit gezeigt haben. Die breit kolportierte Geschichte mit dem amerikanischen Studenten, der glaubt, aufgrund öffentlich zugängiger Dokumente eine eigene Atombombe im Keller basteln zu können, darf man dagegen ins Reich der Fabel verweisen. Das ist blasse Theorie. Als weitaus realer erscheint dagegen die Gefahr einer Scheintat, also daß jemand behauptet, in den Besitz von Kraftwerks-Plutonium gelangt zu sein und damit eine kriminelle oder politische Erpressung versucht. Wenn man sieht, was heute alles über Kernenergie-Gefahren geglaubt wird, würde sich wahrscheinlich auch mit einem solchen Coup hinreichend Wirkung erzielen lassen. Auch der Terroristenkontakt des Kölner Atom-Managers Dr. Robert Traube wurde ja erst dadurch zum Menetekel, daß man Traube Zugriff zu dem Plutonium des von seiner Firma gebauten Brüter-Kernkraftwerks in Kalkar am Niederrhein unterstellte.

Beherrschung der Kritikalität

Die Eigenschaft des Kernbrennstoffs, gewissermaßen von selbst Energie zu liefern, wenn von ihm eine hinreichend große Menge beieinander ist – die sogenannte Kritische Masse –, verursacht auch ein zusätzliches Sicherheitsproblem: Bei der Hantierung mit festem oder gelö-

stem Kernbrennstoff darf es nicht durch Zufall oder Unachtsamkeit zur Bildung einer kritischen Kernbrennstoffmasse kommen. Bereits bei der Planung einer Anlage, in der mit Brennstofflösungen hantiert wird, muß man durch konstruktive Maßnahmen dafür sorgen, daß die Bildung einer Kritischen Masse schon rein technisch nicht möglich ist.

Das klingt schwieriger, als es ist, denn die Erreichung der Kritikalität hängt nicht allein von der Anzahl der vorhandenen Kernbrennstoff-Atome ab. Das Erreichen der Kritikalität wird auch wesentlich dadurch bestimmt, wie viele moderierende, störende oder gar absorbierende Fremdatome sich dazwischen befinden. Auch ein bestimmtes Verhältnis von Oberfläche zu Masse darf nicht unterschritten werden, wenn Kritikalität erwünscht ist. So kann selbst ein unendlich langer Stab aus metallischem Plutonium nie kritisch werden, solange sein Durchmesser kleiner als 6 Zentimeter bleibt. Dabei beträgt die kleinste Kritische Masse für Plutonium-239 unter optimalen Bedingungen nur etwa 510 Gramm.

Bei den Spaltstoff-Lösungen, die in Brennelement-Aufarbeitungsanlagen anfallen, muß man mit einem maximalen Spaltstoff-Gehalt von 1,2 Prozent Uran-235 rechnen. Dann beträgt die noch sichere Höchstmasse knapp 2,4 Tonnen. Die sichere Schichtdicke, selbst bei unendlich großer Masse, beträgt 48 Zentimeter, und solange der Durchmesser eines zylindrischen Gefäßes 80 Zentimeter nicht überschreitet, kann man darin beliebig viel Spaltstoff-Lösung der genannten Konzentration füllen. In der chemischen Form von Uranylnitrat wird Uran dieses Anreicherungsgrads wegen der »Verunreinigung« durch andere Atomarten überhaupt nie kritisch.

Im einzelnen bieten sich in Anlagen, in denen mit Kern-

brennstofflösungen hantiert wird, folgende Maßnahmen zur Verhinderung von Kritikalität-Unfällen an:

- Begrenzung der Masse: Es werden durch Verwendung entsprechend kleiner Vorrats- und Transportbehälter immer nur unterkritische Spaltstoffmengen gehandhabt;
- Begrenzung durch geeignete Geometrie: Die Reaktions-, Transport- und Lagerbehälter erhalten die Form dünner Zylinder oder flacher Platten, so daß sie unabhängig vom Füllungsgrad geometrisch sicher sind;
- Begrenzung durch Verdünnung: Unterhalb einer bestimmten Spaltstoff-Konzentration ist eine Kritikalität nicht mehr möglich;
- Begrenzung des Anreicherungsgrads: Selbst in konzentriertem Spaltstoff kommt es nicht zu Kernspaltungs-Kettenreaktionen, wenn der Gehalt an spaltbaren Isotopen zu gering ist. Im Natururan mit nur 0,702 Prozent spaltbarem U-235 kommt es nicht zur Kritikalität, solange nicht besonders günstige Moderationsverhältnisse herrschen etwa durch Anwesenheit von Schwerem Wasser;
- Begrenzung des Moderationsgrads: Im allgemeinen steigt die Wahrscheinlichkeit für Kernspaltungs-Kettenreaktionen, wenn die bei Spaltungen freigesetzten Neutronen abgebremst, also moderiert werden, etwa durch Wasser;
- Vergiftung durch Neutronen-Absorber: Fügt man einer Spaltstoff-Lösung Stoffe bei, die Neutronen absorbieren, sogenannte »Neutronengifte«, kann man auch dadurch das Zustandekommen von Kettenreaktionen unterbinden. Solche Substanzen sind zum Beispiel Cadmium, Bor und Gadolinium.

Aber selbst wenn es trotzdem einmal, etwa durch grobe

Bedienungsfehler, zu einem Kritikalitätsunfall kommt, bedeutet das noch lange keine Gefahr für die Umgebung. Gefährlich ist daran weniger die Sprengwirkung als der intensive »Blitz« von Neutronen- und Gammastrahlung, dem das Bedienungspersonal möglicherweise ausgesetzt ist. Die Explosionsstärke liegt in der Größenordnung einer Handgranaten-Explosion, die leicht von den meterdicken Mauern aufgefangen werden kann, mit denen Anlagen dieser Art schon aus Gründen des Strahlenschutzes umgeben sind. Vielleicht schlägt dabei das Filter durch, das die Luft der betreffenden Verarbeitungszelle reinigt. Doch diesem ersten Filter sind ja noch zwei weitere in größerem Abstand nachgeschaltet, spätestens dort wird der zerstäubte Kernbrennstoff zurückgehalten.

Keine nukleare Explosion

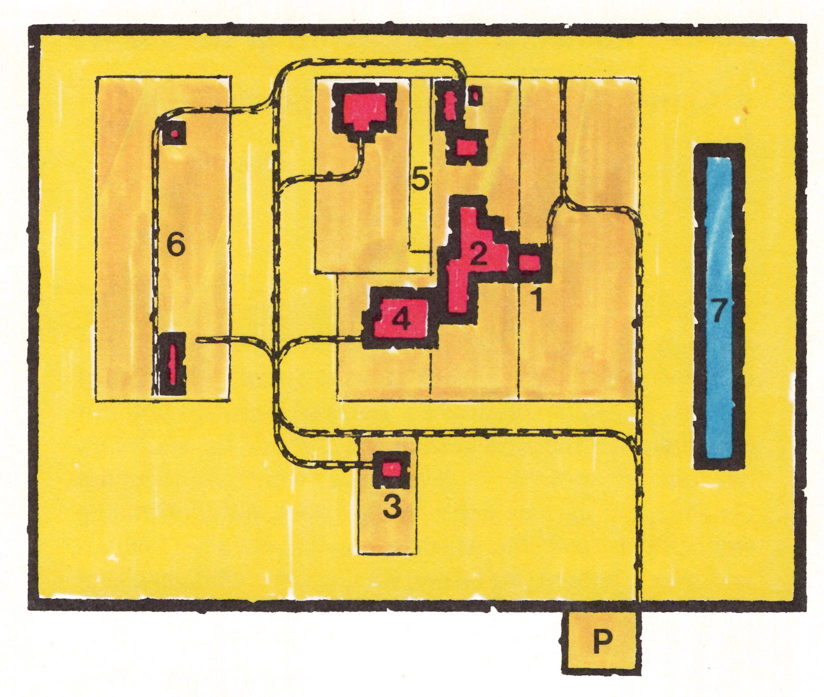
Um eine richtige nukleare Explosion zustande zu bringen, bedarf es ja eines erheblichen Aufwands. Der nukleare Sprengstoff muß hochkonzentrierter Spaltstoff sein, und man muß die Technik beherrschen, ihn mit Hilfe einer konzentrischen Sprengladung innerhalb kürzester Zeit sehr stark zu komprimieren. Nur wenn der nukleare Sprengstoff im Zuge dieser Kompression hinreichend lange beieinander ist, können sich die Kernspaltungs-Kettenreaktionen so stark steigern, daß wirklich viel Energie freigesetzt wird, also wirklich eine nukleare Explosion entsteht. Kommt Kritikalität nur dadurch zustande, daß irrtümlich zuviel Kernbrennstoff-Lösung zusammengeschüttet wird, treibt die beginnende Energiefreisetzung die Kritische Masse so schnell wieder auseinander, daß sie gleich wieder unterkritisch wird. Entsprechend gering bleibt die Energiefreisetzung.

Unbestritten konfrontiert uns die Nutzung der Kernenergie mit einer ganzen Reihe neuer Gefährdungspotentiale, mit Gefahren, die uns nicht vertraut sind und bei denen uns eine realistische Einschätzung schwerfällt. Doch diese Gefahren lassen sich technisch meistern. Wir haben sie im Griff, denn nie zuvor hat es eine technische Entwicklung gegeben, in die von Anfang an so viel an Sicherheitsvorkehrungen gesteckt wurde.
Aber selbst wenn einmal infolge menschlichen Versagens eine Panne passieren sollte – es wäre kurzsichtig, diese Möglichkeit völlig auszuschließen –, die Folgen wären bei weitem nicht so katastrophal, wie uns das die modernen Weltuntergangsapostel glauben machen wollen. Man kann sich sehr wohl darüber streiten, ob der technische Fortschritt immer so weiter gehen soll wie bisher und was zu geschehen hat, damit unser Energieverbrauch nicht immer weiter eskaliert. Doch dann soll man diese Probleme offen ansprechen und nicht mit apokalyptischen Schreckvisionen, die weit über die realen Gefahren hinausgehen, die Menschen zu quälen versuchen. Auch wer gutgläubig mit dem Schrecken operiert, dient letztlich den Kräften, die die Veränderung unserer Gesellschaftsordnung wollen, koste es, was es wolle.

So wird das Entsorgungszentrum aussehen

Beschreibung der Konzeption und der ersten Entwürfe

Wo immer eines Tages das große nukleare Entsorgungszentrum der Bundesrepublik stehen wird, von außen dürfte davon nicht allzuviel zu sehen sein. Obgleich es eine ganze Reihe voluminöser Bauwerke umfaßt und mit einem großen Industriebetrieb wie etwa einem Stahlwerk oder einer Automobilfabrik verglichen werden kann, ist das Gelände, auf dem es sich befindet, doch verhältnismäßig weitläufig. Es soll eine Ausdehnung von etwa 12 Quadratkilometern haben. Der Grund für diese Weitläufigkeit sind nicht die nuklearen Gefahren, etwa um für den Fall schwerer Betriebsstörungen einen möglichst großen Abstand zur Außenwelt zu schaffen.
Man muß Platz haben, um den zunächst noch nicht genau bekannten besten Zugang zum Salzstock frei wählen zu können. Außerdem muß man Vorsorge für späteren Um- und Ausbau treffen. Die Lagerkapazität des neu zu erschließenden Salzstocks soll für mindestens 100 Jahre ausreichen. Doch die jetzt zu errichtende Wiederaufarbeitungsanlage wird man nach schätzungsweise dreißig oder vierzig Jahren daneben neu bauen wollen, wenn der Reparaturaufwand bei der ersten Anlage zu groß wird. Außerdem muß man bei einem solchen Projekt an Erweiterungsmöglichkeiten denken. Es wäre wirtschaftlich und auch von der Sicherheit her betrachtet unsinnig, bei steigendem Wiederaufarbeitungsbedarf später ein ganz neues



Das Entsorgungszentrum wird aus verschiedenen Anlagen bestehen: Brennelement-Lagerung (1); Wiederaufarbeitung, Abfallbehandlung und Zwischenlagerung (2); Uranverarbeitung (3); Plutonium-Brennelementherstellung (4); Abfall-Endbehandlung (5); Abfall-Endlagerung (6); Wasserspeicher (Kühlteich) (7). Die räumliche Anordnung der Teilprojekte muß unter Umständen noch modifiziert werden, wenn das Endlager auf Grund geologischer Standortuntersuchungen verschoben werden muß.

Entsorgungszentrum zu errichten, wenn man mit der Erweiterung einzelner Anlagenteile des alten Zentrums den gleichen Effekt erzielen kann.
Für die umliegenden Gemeinden bedeutet die Errichtung eines solchen Zentrums eine nicht unwesentliche Ausweitung der wirtschaftlichen und sozialen Struktur. Etwa Dreiviertel der im Zentrum neu geschaffenen 3.600 Arbeitsplätze können durch Arbeitnehmer aus der örtlichen Bevölkerung besetzt werden. Dazu will das Zentrum Ausbildungs- und Umschulungskurse anbieten. Dessen ungeachtet wird der Zubau von Wohnungen und Kindergärten, von Schulen und Krankenhäusern, von Sport- und Freizeiteinrichtungen, aber auch von kulturellen Anlagen notwendig sein. Nach einer Untersuchung des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung induzieren Anlageninvestitionen für Kernenergieeinrichtungen mehr als das Zweifache an Bruttoproduktion. Für das Entsorgungszentrum im Wert von voraussichtlich etwa 5 bis 6 Milliarden DM bedeutet das eine direkte und indirekte Bruttoproduktion von etwa 12 Milliarden DM. Und wenn das Entsorgungszentrum einmal voll in Betrieb ist, wird es ein jährliches Steueraufkommen von 75 Millionen DM abwerfen. Das Argument des niedersächsischen Ministerpräsidenten bei der Wahl von Gorleben als Standort der Entsorgungsanlage, hier sei ein besonders strukturschwaches und entsprechend förderungswürdiges Gebiet, ist also nicht von der Hand zu weisen.
Schon mit Baubeginn wird in der Standortregion die Verkehrsstruktur verbessert werden müssen, zum Beispiel durch den Bau und Ausbau von Zufahrtstraßen, den Neubau eines Bahnanschlusses und Verbesserung des öffentlichen Nahverkehrs. Es ist zu erwarten, daß sich in der Nachbarschaft des Entsorgungszentrums kleine und

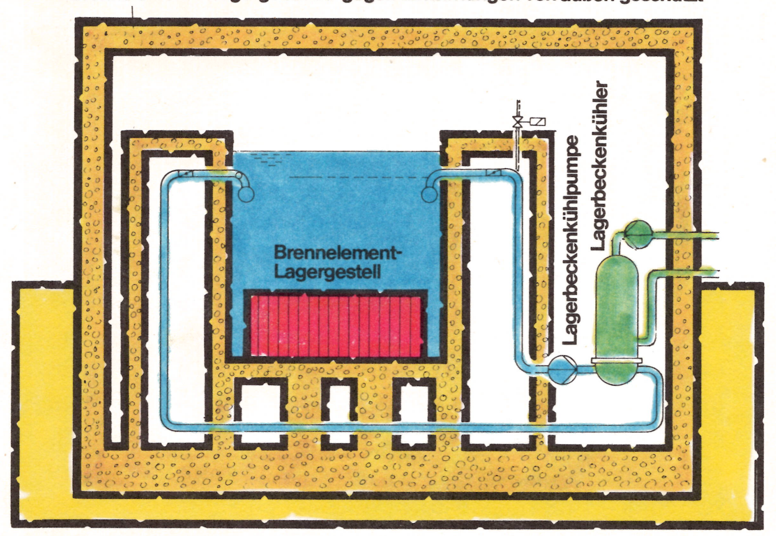
größere Industrie- und Gewerbebetriebe ansiedeln, die ständig Lieferungen und Leistungen für das Zentrum erbringen. Da es sich hier um ein krisensicheres Unternehmen handelt, werden lokale Firmen mit sicheren Aufträgen rechnen können.
Andererseits steht der Fortführung der bestehenden Bodennutzung wie Ackerbau, Viehhaltung und Milchwirtschaft außerhalb des Zentrumgeländes nichts entgegen. Die Wärmeabgabe der gesamten Anlage erfolgt über Kühltürme und wird einer thermischen Leistung von rund 100 Megawatt entsprechen. Sie erreicht nicht einmal ein Zwanzigstel der Wärmeabgabe eines großen Kernkraftwerksblocks wie in Biblis, Wyhl oder Brokdorf. Da die Kühltürme nur 8 bis 15 Meter hoch werden, schlägt sich die von ihnen abgegebene Feuchtigkeit bereits nach wenigen hundert Metern nieder, also noch innerhalb des Entsorgungszentrums. Eine klimatische Beeinträchtigung der Umgebung ist ausgeschlossen.

Finanzierung über die Stromkosten

Bau und Betrieb des Entsorgungszentrums liegen in den Händen der großen deutschen Energieversorgungsunternehmen, die die Anlage für ihre Kernkraftwerke nutzen wollen. Sie haben dazu eine gemeinsame Tochtergesellschaft, die Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen - kurz DWK - gegründet. Die Finanzierung des Unternehmens erfolgt nach dem Verursacherprinzip durch die Energieversorgungsunternehmen, also praktisch über den Strompreis. Trotz der hohen Investitionskosten ist die daraus resultierende Belastung des Strompreises jedoch gering. Sie beträgt etwa 0,4 bis 0,6 Pfennig je Kilowattstunde.

Darin sind auch die Kosten für die Endlagerung der radioaktiven Abfälle inbegriffen. Diese bleibt im Prinzip Sache des Staates, genauer gesagt des Bundes, vertreten durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig. Zur praktischen Durchführung der Abfall-Endlagerung wird die PTB eine weitere Firma beauftragen und von den Benutzern des Lagers kostendeckende Gebühren erheben. Öffentliche Mittel sind also für die Einrichtung und den Betrieb des Entsorgungszentrums nicht vorgesehen und werden auch von den Betreibern des Zentrums nicht erwartet.
Mit Fug und Recht wird das große Entsorgungszentrum der Bundesrepublik als eine Wiederaufarbeitungsanlage der zweiten Generation bezeichnet. Nicht nur, daß hier erstmalig in der Welt alle Prozeßschritte des Brennstoff-Kreislaufs außerhalb des Kernkraftwerks an einem Platz vereinigt werden, hinter dem hier angewandten Konzept steht auch eine neue Philosophie: Während man zum Beispiel in Amerika noch der Auffassung anhängt, die Wiederaufarbeitung könne zur Ökonomie des Atomstroms beitragen und müsse entsprechend preiswert betrieben werden, hat man sich in der Bundesrepublik Deutschland voll dem sicheren und umweltfreundlichen Betrieb verschrieben und akzeptiert die daraus resultierende – wenn auch geringe – Erhöhung der Stromerzeugungskosten.
In der Praxis bedeutet das zwar, daß man zu Investitionskosten kommt, die weit über denen vergleichbarer amerikanischer Anlagen liegen. Doch dafür kann man sicher sein, daß nicht aufgrund nachgeschobener Forderungen der Genehmigungsbehörden nachträgliche Änderungen durchgeführt werden müssen, wie das in Amerika zu einer bedrohlichen Verzögerung der Inbetriebnahme der

Anlage in Barnwell geführt hat. Das gilt zumindest so lange, als in der Bundesrepublik die Genehmigungsbehörden noch objektiv sachlich urteilen und nicht politisch unter Druck geraten.
Positiv wirkt sich bei der Konzeption der deutschen Anlage auch aus, daß sie von vornherein optimal auf den Brennstoff der großen Druck- und Siedewasser-Reaktoren der achtziger Jahre eingestellt werden kann. Man muß nicht, wie in den älteren französischen und britischen Anlagen, Kompromisse schließen, um auch Brennstoffe ganz anderer Zusammensetzung aufarbeiten zu können, zum Beispiel Material für die Herstellung von Waffen-Plutonium.
Andererseits besteht in Fragen der Wiederaufarbeitung seit Jahren eine enge Zusammenarbeit zwischen den einschlägigen britischen, französischen und deutschen Partnern im Rahmen der gemeinsamen Firma »United Reprocessors GmbH« sowie ein enger Erfahrungsaustausch mit amerikanischen Unternehmen und Stellen dieser Branche. Das technische Konzept und die detaillierten Entwurfsarbeiten für die große deutsche Wiederaufarbeitungsanlage fußen also nicht nur auf den beim Bau und Betrieb der WAK in Karlsruhe gesammelten eigenen technischen Erfahrungen, sondern auf dem 30 Jahre zurückreichenden Erfahrungspotential der ganzen Welt. Zum Beispiel konnten deutsche Techniker die in Barnwell vor der Fertigstellung stehende etwa gleichgroße Wiederaufarbeitungsanlage in allen Einzelheiten besichtigen. Andererseits laufen parallel zum deutschen Wiederaufarbeitungsprojekt in England die Planungs- und Konstruktionsarbeiten für die neue Wiederaufarbeitungsanlage Thorp, die eine Kapazität von 1.000 Tonnen Uran im Jahr haben soll. Durch ständigen Gedankenaus-

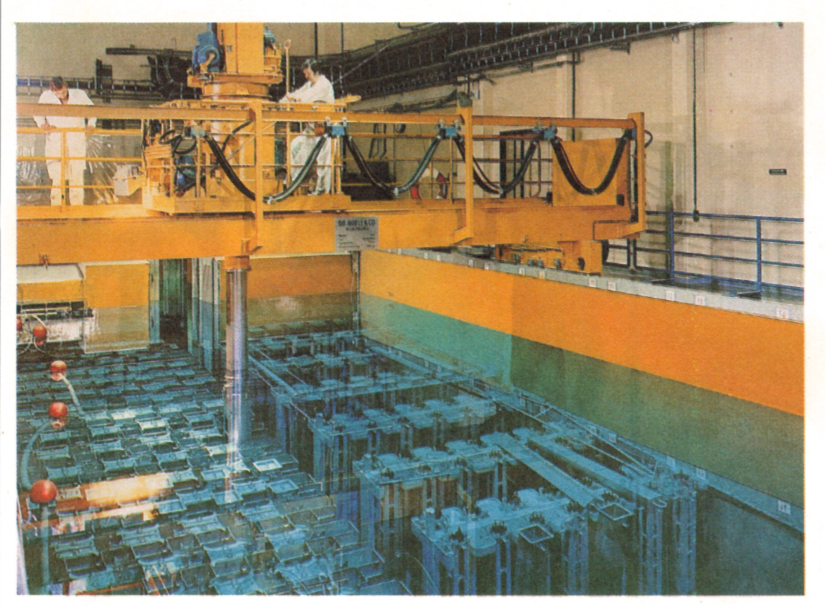


Die Brennelement-Lagerbecken befinden sich in einem gegen alle äußeren Einwirkungen geschützten Gebäude und stehen »auf Stelzen«, so daß man sie auch von unten her auf Dichtigkeit überprüfen kann. Der Wasserkreislauf des Beckens ist in sich geschlossen und gibt seine Wärme nur über einen Wärmetauscher nach außen ab.

tausch will man eine gemeinsame Bearbeitung und Lösung der sowohl beim deutschen wie beim britischen Projekt auftauchenden Probleme gewährleisten.

Zuerst die Brennelement-Lagerbecken

Der erste Bauabschnitt des Entsorgungszentrums wird neben ersten Infrastruktur-Maßnahmen vor allem die Errichtung des Brennelement-Lagergebäudes umfassen. Dieses soll eine Länge von 120 Metern, eine Breite von 62 Metern und eine Höhe von 40 Metern haben. Seine Stahlbetonwände haben Stärken von 1,4 bis 2 Metern, so daß die Anlage den heute in der Bundesrepublik üblichen strengen Schutzvorschriften für Reaktorgebäude entsprechen wird, also jeder Art von äußerer Einwirkung einschließlich Flugzeugabsturz widerstehen kann.
Innerhalb des weitläufigen Gebäudes sind sechs Brennelement-Lagerbecken mit einem Fassungsvermögen von je 500 Tonnen Uran vorgesehen. Das sind insgesamt 3.000 Tonnen, so daß das völlig gefüllte Brennelementlager für etwa zwei Jahre Wiederaufarbeitung ausreichen würde. Bekanntlich ist die Verarbeitungskapazität des Entsorgungszentrums mit etwa 1.400 Tonnen Urangehalt pro Jahr angesetzt. So läßt sich die Abklingzeit der angelieferten Brennelemente ein ganzes Stück verlängern und ihre Radioaktivität noch vor der Verarbeitung erheblich reduzieren. Vor allem aber kann man die Aufarbeitungsanlage weitgehend unabhängig von Schwankungen des Brennelementanfalls betreiben und hat in der Anfangszeit die Möglichkeit, eine längere Zeitspanne bis zur Inbetriebnahme zu überbrücken.
In den etwa 16 Meter hohen Becken sind die Brennelemente von 10 Meter Wasser überdeckt, so daß sie senk-

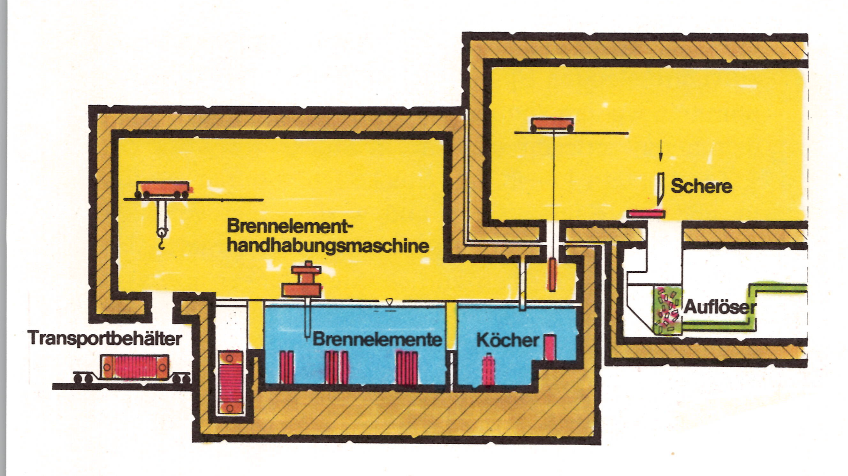


Im Lagerbecken hängen die Brennelemente senkrecht in Gestellen und sind von einer mehrere Meter dicken Wasserschicht überdeckt. So bleiben sie für den Transport sichtbar und sind doch gut abgeschirmt. Das Bild zeigt das Brennelement-Lagerbecken in der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe.

recht hängend unter Wasser, und damit voll abgeschirmt und doch gut sichtbar, transportiert werden können. Sie sind maximal 5,5 Meter lang und stehen normalerweise senkrecht in Gestellen, durch Bor-Aluminium-Bleche zur Verhinderung unbeabsichtigter Kritikalität getrennt. Das Wasser in den Becken läuft ständig um, wird durch Wärmetauscher gekühlt und in Hilfsanlagen gereinigt. Auch diese befinden sich innerhalb des geschützten Gebäudes. Die abzuführende Wärmeleistung beträgt, wenn die Becken voll und die Elemente frisch sind, maximal 81 Megawatt.
Die mit Stahl ausgekleideten Becken stehen »auf Stelzen« einzeln im Gebäude. So ist auch ihre Unterseite zugängig, und ein Versickern von radioaktivem Kühlwasser läßt sich mit Sicherheit verhindern. Zur Einrichtung des Brennelement-Lagergebäudes gehört auch ein Entladebecken, in dem die Brennelemente unter Wasser den Transportbehältern entnommen werden. Außerdem gibt es hier Einrichtungen zur Dekontamination der Behälter, also zur Entfernung etwaiger radioaktiver Verunreinigungen. Dabei können noch Behälter mit einem Gesamtgewicht von rund 100 Tonnen und einem Brennelement-Inhalt von etwa 5 Tonnen Uran bearbeitet werden. Sie kommen über den Gleisanschluß in Spezial-Eisenbahnwagen oder werden mit Straßenfahrzeugen in das Zentrum gebracht.

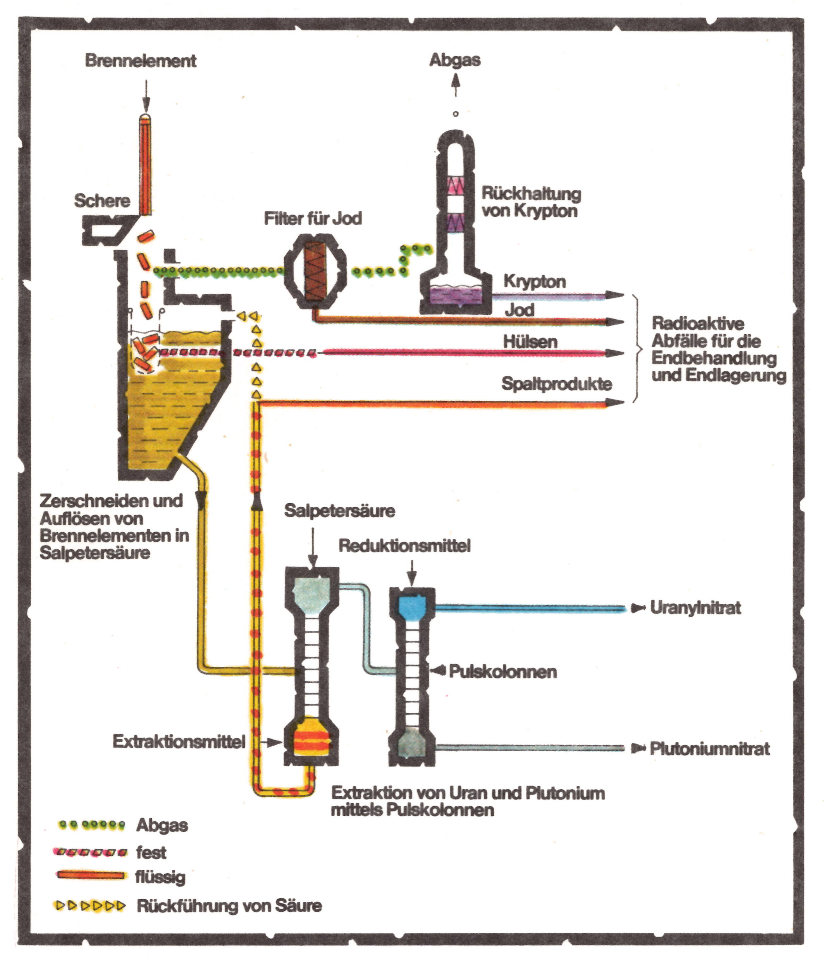
Der Weg der Brennstofflösung

An das Brennelement-Lagergebäude schließt sich ein Gebäude von 90 Meter Länge, 80 Meter Breite und 50 Meter Höhe für die erste Verarbeitungsstufe der Aufarbeitung, die Brennelementzerlegung, an. Zum Teil greift dieses



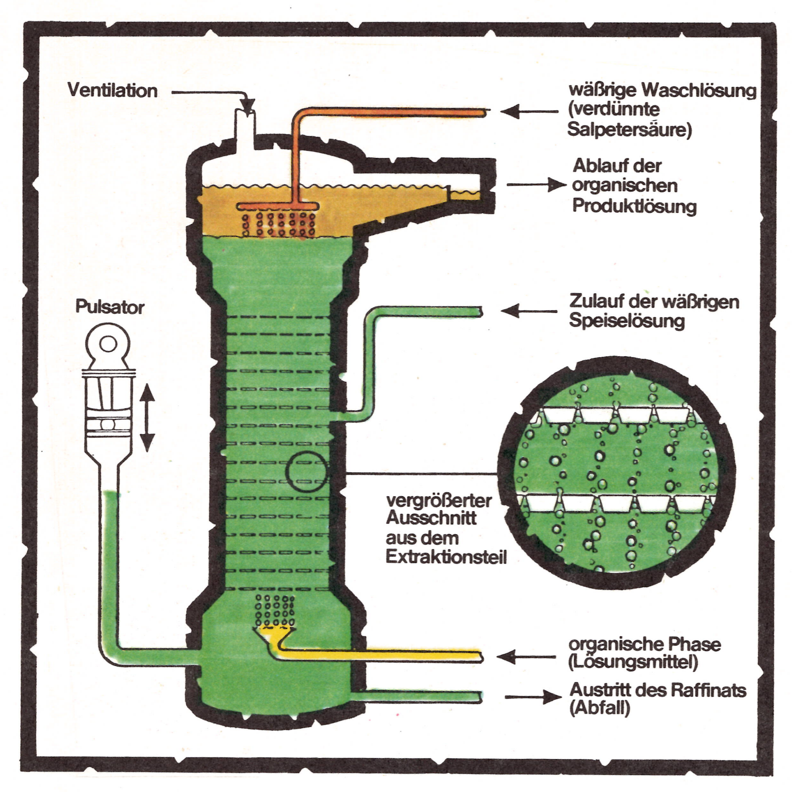
Das Gebäude für die Wiederaufarbeitung reicht so über das Lagergebäude, daß die Brennelemente direkt aus dem Lagerbecken entnommen und der Zerlegung und Auflösung zugeführt werden können. Ähnlich wurde zuvor der frisch angekommene Transportbehälter zur Entladung in das Lagergebäude gehoben.

Gebäude noch über das Brennelement-Lager, so daß die zu verarbeitenden Elemente unmittelbar dem Lager entnommen werden können. Hydraulisch angetriebene Bündelscheren zerlegen sie dann in Stücke von etwa 2 bis 5 Zentimetern Länge. Die Stücke fallen durch ein Rohr in siedende Salpetersäure und werden hier vollständig ausgelaugt. Die festen Teile und das Strukturmaterial der Brennelemente bleiben zurück. Sie gelangen in das sogenannte Hülsenlager.
Die Brennstofflösung dagegen, die sich aus der heißen Salpetersäure nach der chemischen Auflösung der Brennstoffanteile Uran und Plutonium sowie der Spaltprodukte bildet, wird gekühlt, durch Filtern und Zentrifugieren gereinigt und dann einem Zwischenlager zugeführt. Die weitere Behandlung der Brennstofflösung erfolgt in einem anschließenden Baukörper von etwa 840.000 Kubikmeter Inhalt. Er hat die Form eines L, mit einer Schenkellänge von 120 beziehungsweise 140 Metern und einer Höhe von 34 Metern. Dort sind sämtliche Verfahrenseinheiten der chemischen Aufarbeitung in dickwandigen Prozeßzellen untergebracht. Sie bilden den Kern des Gebäudes.
Zur Aufarbeitung der Brennstofflösung benutzt man Extraktionszyklen nach dem bewährten Purex-Verfahren. In den Reaktionssäulen, sogenannten Pulskolonnen, des ersten Zyklus werden mit der Hilfe von Tributylphosphat das Urannitrat und das Plutoniumnitrat aus der Brennstofflösung herausgewaschen und damit von den übrigbleibenden Spaltprodukten getrennt. Es schließen sich dann je zwei Uran- und Plutoniumzyklen an, die die Aufgabe haben, die beiden Brennstoffkomponenten nahezu restlos von Spaltprodukten zu reinigen und voneinander zu trennen. Das Extraktionsmittel Tributylphosphat wird dabei im Kreislauf geführt und immer wieder seinerseits gereinigt.



Im Prinzip ist die Wiederaufarbeitung des verbrauchten Kernbrennstoffs einfach: Aus den zerschnittenen Brennelementstäben werden Brennstoff und Spaltprodukte herausgelöst. Eine erste Pulskolonne trennt dann das Uranylnitrat und Plutoniumnitrat von den Spaltprodukten. In der zweiten Kolonne erfolgt die Trennung von Uranylnitrat und Plutoniumnitrat. Allerdings schließen sich daran noch weitere Reinigungszyklen an, um jedes Produkt mit hoher Reinheit zu erhalten.

Von der übrigbleibenden Brennstoff-Lösung, die praktisch zu einer Spaltprodukte-Lösung geworden ist, trennt man außerdem die Salpetersäure zur Wiederverwendung ab und konzentriert den Rückstand durch weitgehende Verdampfung des wäßrigen Anteils. 95 Prozent der angefallenen Radioaktivität steckten in diesem Konzentrat.
Zur weiteren Behandlung der radioaktiven Abfälle ist dem L-förmigen Prozeßgebäude noch ein weiterer Schenkel angefügt, ein Gebäude von 200 Meter Länge, 120 Meter Breite und 27 Meter Höhe. In seiner unteren Ebene besteht es aus dickwandigen Betonzellen von 18 mal 18 Meter Grundfläche zur Aufnahme von je einem Edelstahl-Tank mit 1.000 Kubikmeter Inhalt. Hier hinein wird die vorkonzentrierte hochradioaktive Spaltprodukte-Lösung gepumpt, um bis zur anschließenden Verfestigung und Endlagerung für einige Jahre zwischengelagert zu werden.
Das Kühlsystem dieser Tanks wird so eingestellt, daß die Temperatur der Lösung bei etwa 60 Grad Celsius konstant bleibt. Dadurch verdunstet Lösungswasser im gleichen Maße wie die Radioaktivität der Spaltprodukte abnimmt. Die Lösung wird mehr und mehr aufkonzentriert, bis sie schließlich maximalen Salzgehalt hat. Ist das erreicht, wird das verdunstende Wasser wieder an die Lösung zurückgeführt. Die Abgase der Tanks unterzieht man vor der Abgabe an die Umgebung natürlich einer Reinigung und Kontrolle auf Radioaktivität. Außerdem kann man mit der Hilfe von Pulsatoren und Flüssigkeitsstrahlpumpen den Bodensatz aufwirbeln und den Inhalt der Tanks immer wieder homogenisieren.
Für den Fall eines Lecks ist die Zelle, in der sich der Tank befindet, mit Edelstahl ausgekleidet. Außerdem stehen jederzeit ausreichend Reservebehälter zur Verfügung.

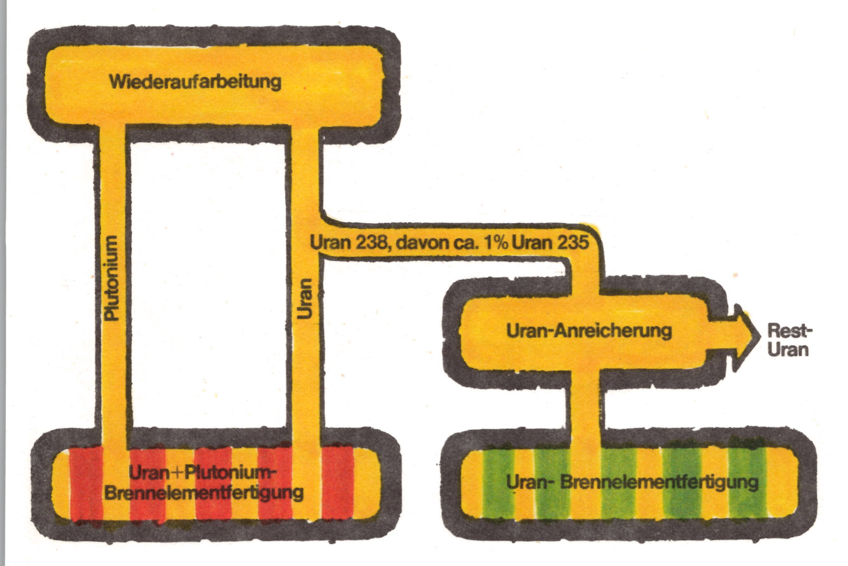


Die Trennung bei der Wiederaufarbeitung beruht darauf, daß ein organisches Lösungsmittel durch die wäßrige Salpetersäure perlt und dabei die Uran- und Plutonium-Anteile mitnimmt. Die Druckstöße des Pulsators und die in die Pulskolonne eingebauten Siebe sorgen dafür, daß das organische Lösungsmittel gut mit der verdünnten Salpetersäure vermischt wird.

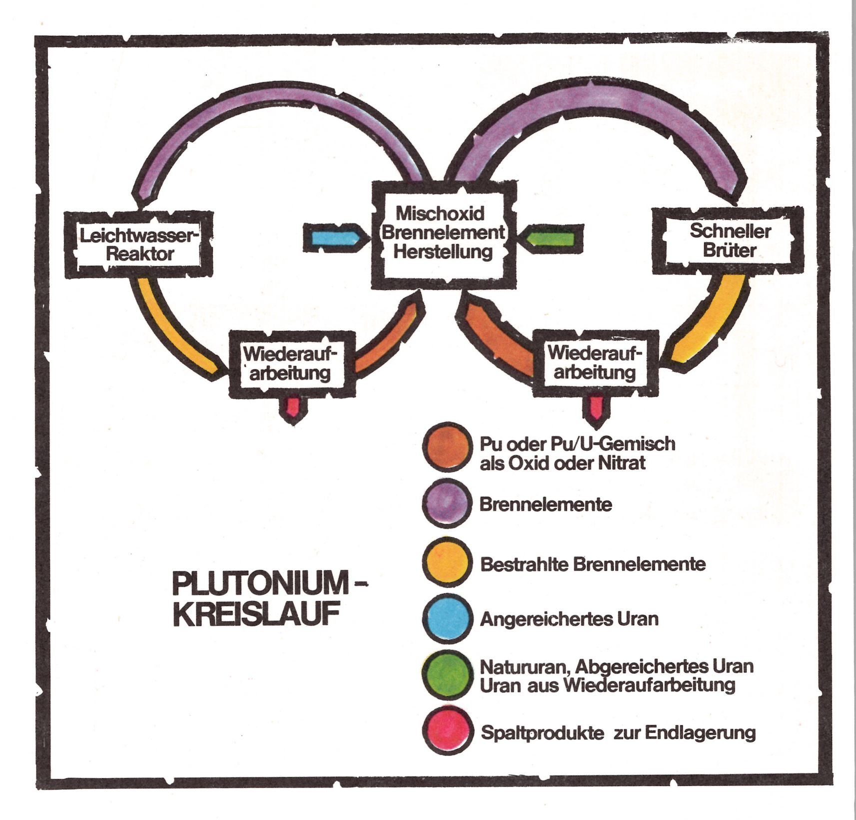
um den Inhalt möglicherweise defekt werdender Behälter umpumpen zu können. Volumenmäßig fällt der hochradioaktive flüssige Abfall nicht besonders ins Gewicht. Bei einem Durchsatz von 1.400 Tonnen Uranbrennstoff entstehen pro Jahr nur 600 Kubikmeter Abfall, also etwas mehr als eine halbe Tankfüllung. Die darin steckende Radioaktivität liegt allerdings zunächst noch in der Größenordnung von 1 Milliarde Curie.
Die ausgelaugten Brennelement-Hülsen werden gleichfalls zunächst zwischengelagert, und zwar unter Wasser. Auch fällt bei den Reinigungsprozessen der Purex-Zyklen noch einiges an mittel- und schwachradioaktiven, festen und flüssigen Abfällen zur Zwischenlagerung an.

Was aus den rückgewonnenen Brennstoffen wird

Eine weitere Einrichtung des Entsorgungszentrums - ein Gebäude mit etwa 23.000 Quadratmeter Betriebsfläche - dient der Rückgewinnung des Urans aus der bei der Extraktion anfallenden wäßrigen Uranylnitrat-Lösung: Man fällt das Uran durch Bildung einer schwer löslichen Uranverbindung aus und reduziert den getrockneten Niederschlag in einem Wirbelschichtofen bei etwa 500 bis 600 Grad Celsius zu Urandioxid-Pulver. In der Form läßt sich das Uran dann leicht einlagern oder zur Isotopen-Anreicherung abtransportieren. Mengenmäßig ist das das Hauptprodukt der Wiederaufarbeitung, denn von den 1.400 Tonnen Brennstoffdurchsatz fallen etwa 1.350 Tonnen als rückgewonnenes Uran an.
Die Ausbeute an Plutonium beträgt nur etwa 14 Tonnen, also 1 Prozent. Auch das Plutoniumnitrat wird aus der wäßrigen Lösung ausgefällt, anschließend abgefiltert und dann im Ofen bei etwa 300 Grad Celsius zu Pluto-



Um reines Plutonium nicht auf öffentlichen Straßen zu transportieren, soll es im Entsorgungszentrum gleich zu Brennelementen weiterverarbeitet werden. Wenn es dem aus der Wiederaufarbeitung kommenden Uran mit einem Gehalt von 2 bis 4 Prozent beigemischt wird, erhält man Brennelemente, die denen der üblichen Anreicherung entsprechen. Der andere Teil des aus der Wiederaufarbeitung kommenden Urans muß erneut der Anreicherung unterworfen werden, um daraus reine Uran-Brennelemente zu fertigen. Abgereichertes Rest-Uran bleibt übrig.

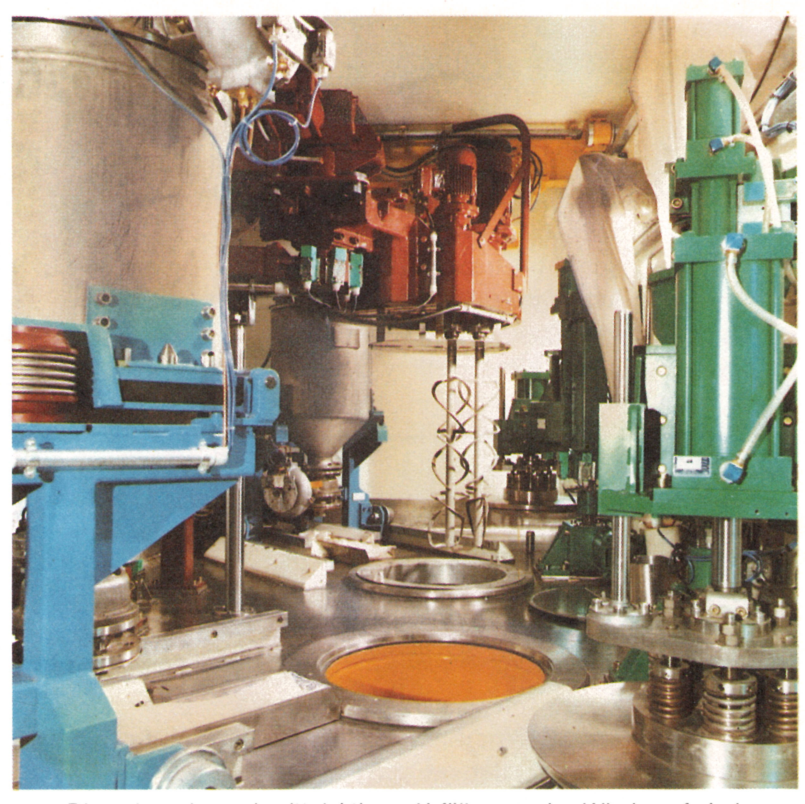


Wird das bei der Wiederaufarbeitung anfallende Plutonium dazu benutzt, Schnelle Brüter zu betreiben, erhält man einen doppelten Brennstoffkreislauf, einen für die Leichtwasser-Reaktoren und einen für die Schnellen Brüter. Beide sind in der Brennelementherstellung miteinander verzahnt.

niumoxid verglüht. Aus Sicherheitsgründen soll dieses Plutonium gleich an Ort und Stelle wieder zu Brennelementen verarbeitet werden. Dadurch verringert man das Transportrisiko und die Gefahr einer mißbräuchlichen Entwendung ganz wesentlich. Gerade darum will man ja nicht nur eine Wiederaufarbeitungsanlage, sondern ein ganzes Entsorgungszentrum bauen.
Für die Plutonium-Rückgewinnung und die anschließende Brennelement-Herstellung ist ein weiterer Gebäudekomplex vorgesehen. Er soll sowohl für die Fabrikation von Elementen für Leichtwasser-Reaktoren mit einem Plutoniumoxid-Gehalt von 2 bis 4 Prozent als auch für Elemente der künftigen Schnellen Brüter mit einem Plutonium-Gehalt von 20 bis 30 Prozent eingerichtet werden. Hier ist die Verarbeitung von insgesamt 350 Tonnen Mischoxid jährlich vorgesehen.
Wie üblich preßt man die Mischung von Plutoniumdioxid und Urandioxid, sintert die Tabletten und steckt sie in Brennstäbe, die mit Helium gefüllt und gasdicht verschlossen werden. Nur geschieht das alles nicht wie bei reinen Uranelementen in frei zugängiger Form, sondern innerhalb dichter Umhüllungen wie Handschuh-Kästen, so daß die Mitarbeiter nie direkt mit Plutoniumdioxid-Pulver in Berührung kommen. Bei diesen Arbeiten kann man in der Bundesrepublik auf fast zehnjährige Betriebserfahrung mit einer weitgehend automatisierten Plutonium-Brennelement-Fertigung in Hanau bei Frankfurt zurückgreifen.

Konditionierung der Abfälle

Ein weiterer großer, doch noch nicht in Einzelheiten projektierter Gebäudekomplex dient der Vorbereitung des



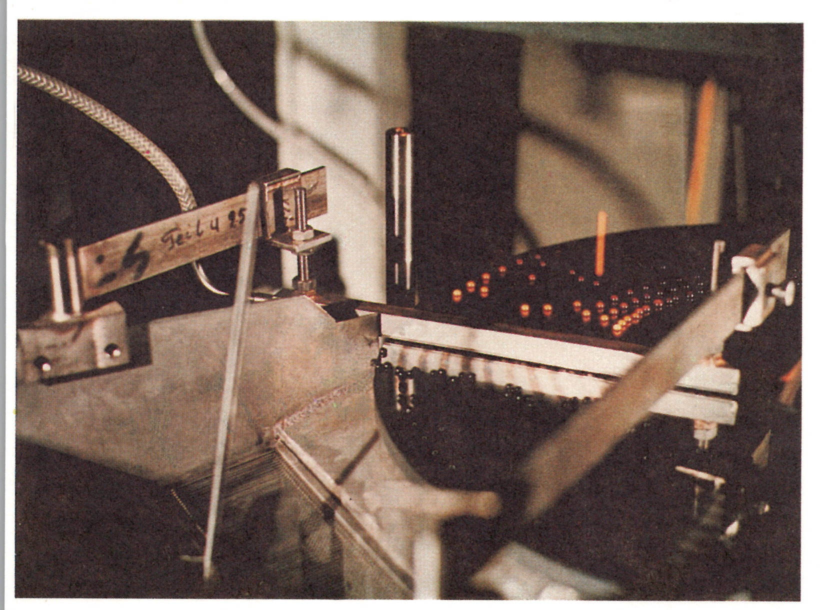
Die schwach- und mittelaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitungsanlage werden konzentriert und dann mit der Hilfe von Bindemitteln wie Zement oder Bitumen fixiert. Das Bild zeigt eine Bituminierungsanlage im Kernforschungszentrum Karlsruhe.

radioaktiven Abfalls für die Endlagerung im Salzstock. Da die Anlagen zur Abfall-Konditionierung - so nennt man dieses Verfahren - zum Teil erst Anfang der neunziger Jahre verfügbar sein müssen, kann man sich mit der Detailplanung noch bis Mitte 1984 Zeit lassen.
So ist vorgesehen, sich in der ersten Ausbaustufe der Konditionierungsanlage auf die völlig unproblematischen mittel- und schwachradioaktiven Abfälle zu beschränken. Soweit sie flüssig sind, wird man sie mit Bindemitteln wie Zement und Bitumen fixieren und in Rollreifen-Fässer füllen. Das gleiche geschieht mit den festen Abfällen, nur daß diese zuvor zur Volumen-Verringerung gepreßt oder, soweit es sich um brennbare Stoffe handelt, verascht werden.
Auch die zunächst unter Wasser gelagerten festen Brennelement-Hülsen und einiger Zentrifugenschlamm werden in Rollreifen-Fässer von 200 Liter Inhalt gefüllt und mit flüssigem Zement abgebunden. Obgleich es sich hier bereits um Abfall höherer Aktivität handelt, ist diese doch noch so gering, daß eine gefährliche Selbstaufheizung der Fässer nicht eintritt.
Für die hochradioaktiven flüssigen Abfälle, also die eingedickten Spaltproduktlösungen, wurden in der Bundesrepublik drei Verfahren entwickelt, von denen bisher zwei im labortechnischen Maßstab heiß - also mit echten konzentrierten Spaltprodukten - erprobt sind. Eine leistungsfähige Mehrzweck-Versuchsanlage zur großtechnischen Erprobung der Verfestigung von hochaktiven Abfall-Lösungen (VERA) wird jetzt von der Gesellschaft für Kernforschung in Karlsruhe errichtet.
Alle drei Verfahren zielen darauf ab, die Spaltprodukte zu Glas zu verarbeiten: Die in der Spaltstoff-Lösung noch vorhandene Salpetersäure und Salpetersäure-Verbindun-

gen werden zersetzt, so daß man eine denitrierte Abfall-Lösung erhält. Diese läßt sich zu einem pulverförmigen Granulat reduzieren und nach Zugabe von glasbildenden Stoffen zu einer Glasschmelze verarbeiten, die man in Edelstahlzylindern von etwa 20 bis 50 Zentimeter Durchmesser und bis zu 150 Zentimeter Höhe erstarren läßt. Durch sehr langsames Abkühlen macht man das Glas wie das bekannte feuerfeste Glasgeschirr spannungsfrei, so daß auch bei hoher Temperatur als Folge der Selbsterwärmung seine Struktur intakt bleibt. Zur Sicherstellung einer guten Wärmeableitung kann man auch kleine Glaskugeln produzieren und diese in Schwermetall - etwa Blei oder abgereichertes Uran - eingießen. Durch die Metallmatrix wird eine zehnmal bessere Wärmeleitfähigkeit erreicht.

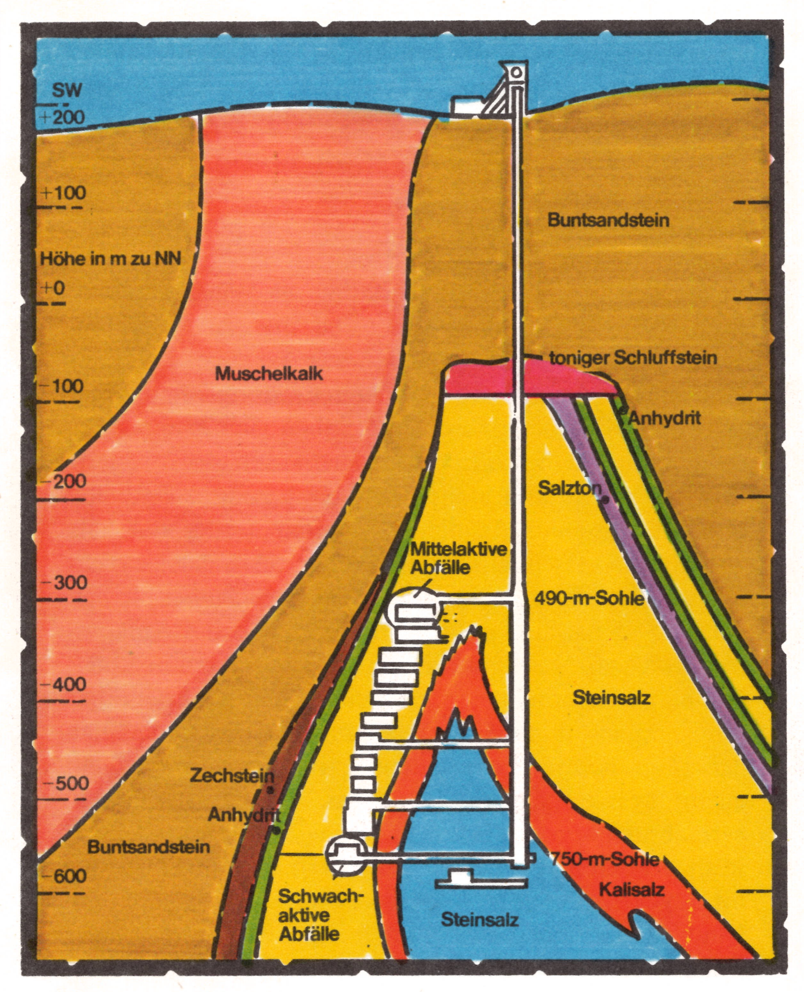
Verglasung - der sicherste Weg

Die Verglasung der hochradioaktiven flüssigen Abfälle gilt heute in der ganzen Welt als die sicherste Technik der Konditionierung solcher Stoffe. Glas hat optimale Eigenschaften hinsichtlich der Strahlenbeständigkeit, der Temperaturbeständigkeit sowie der mechanischen und chemischen Beständigkeit. Auch die Resistenz gegen Auslaugen ist optimal. Es läßt sich aufgrund experimenteller Untersuchungen errechnen, daß im Kontakt mit Wasser oder Salzlösungen aus solchen Glaskörpern im Verlauf von 10.000 Jahren höchstens 2 Prozent der Verfestigungsprodukte ausgelaugt werden können. Bis dahin ist deren Aktivität aber ohnehin auf das Niveau von Uranerz-Abfällen abgesunken und damit harmlos. Andere Experimente zielten darauf ab, das Langzeitverhalten der Glasstruktur unter intensiver Strahlenwirkung zu untersuchen, ins-



Die Entwicklung von Verfahren zur Verglasung der hochradioaktiven flüssigen Abfälle ist noch nicht ganz abgeschlossen. Das Bild zeigt eine Anlage für die Herstellung von linsenartigen Glaskörpern mit etwa 5 Millimeter Durchmesser. Eine solche »Linse« kann die Spaltproduktmenge binden, die dann entsteht, wenn ein vierköpfiger Haushalt ein Jahr lang voll mit Strom aus Kernkraftwerken versorgt wird.

besondere unter Einwirkung der verhältnismäßig massereichen Teilchen, der sogenannten Alpha-Strahlung. Dabei konnte eine Zeitspanne von über 3.000 Jahren simuliert werden, und es hat sich gezeigt, daß auch dann die Glasstruktur immer noch intakt bleibt und keinerlei gefährliche Schädigung aufweist.
Die Glasblöcke, die 25 bis 30 Prozent Spaltprodukte enthalten, sind jetzt fertig zur Endlagerung im Salzstock. Man wird sie aber, zumindest während der Anlaufphase, noch einmal zwischenlagern im sogenannten Glasblocklager. So lassen sich die Betriebsabläufe der Konditionierung vom Rhythmus der Einlagerung entkoppeln. Außerdem möchte man bei den ersten Glasblock-Serien nach einigen Jahren gern noch einmal nachschauen, wie sie sich nun wirklich entwickeln. Schließlich wird die Endlagerung mit jedem weiteren Jahr des Abklingens der Radioaktivität und dem entsprechenden Rückgang der Wärmeentwicklung unproblematischer.
Das Glasblock-Lager besteht aus mehreren luftgekühlten Lagerkammern, von denen jede etwa 3.000 Glasblöcke – die Produktion von zwei Jahren – aufnehmen kann. Die Lagerkammern werden aus Beton gefertigt und innen mit Edelstahl ausgekleidet. Die Kammern haben für jede Glasblockposition ein Loch im Deckel, durch das der betreffende Glasblock in die Kammer eingesetzt wird. Er befindet sich dazu, unabhängig von seiner eigenen Edelstahlumkleidung, in einem Lagergestell, der sogenannten Waste-Flasche. Die Kammern haben an den Längsseiten Be- und Entlüftungsöffnungen zur Abfuhr der in den Glasblöcken entwickelten Wärme. Dabei genügt der natürliche Durchzug der Luft, denn nachdem die in den Glasblöcken verfestigten Spaltprodukte zu diesem Zeitpunkt schon über sechs Jahre aus dem Reaktor heraus



Als Musterbeispiel für die Nutzung von Salzstöcken zur Endlagerung von radioaktiven Abfällen gilt seit zehn Jahren das ehemalige Salzbergwerk Asse. Es erschließt einen Salzstock, der vor etwa 110 Millionen Jahren durch tektonische Kräfte aufgefaltet wurde. Für die Endlagerung der hochaktiven Spaltprodukte soll ein bisher nicht erschlossener Salzstock verwendet werden.

sind, ist ihre Wärmeentwicklung nicht mehr groß. Natürlich sind auch in diesem Lager die Wände so dick, daß sie einem Erdbeben, einem Flugzeugabsturz oder einer Explosion in der Nähe zuverlässig widerstehen.

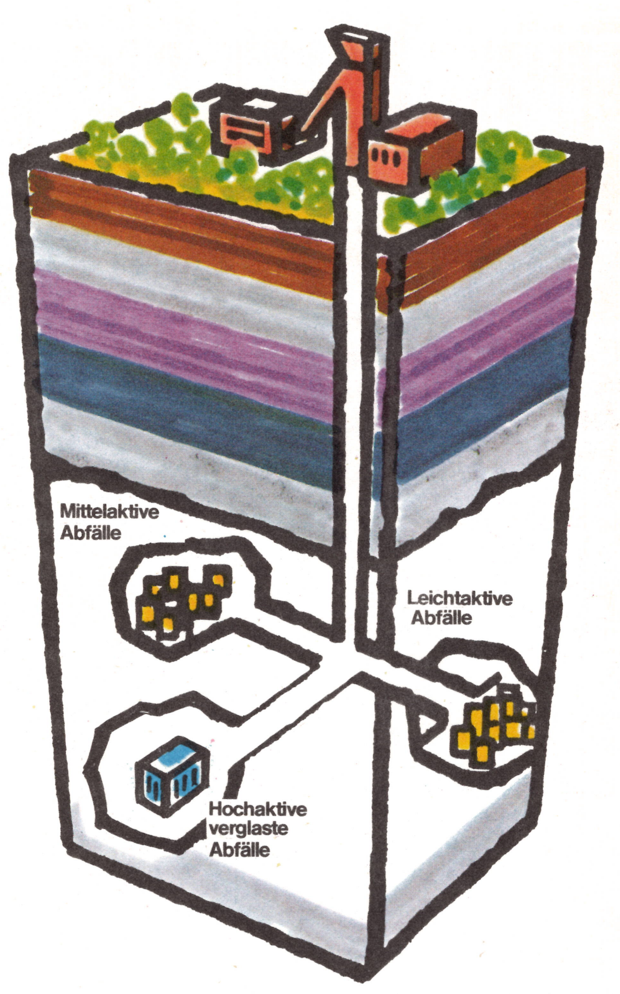
Endlagerung im Salzstock

Schließlich kommt die letzte Station der Wiederaufarbeitung, die Abfall-Endlagerung. Wie mehrfach erwähnt, bietet dafür ein Salzstock besondere Vorzüge: Die etwa 200 Salzstöcke im norddeutschen Raum existieren seit über 100 Millionen Jahren und haben sich in ihrer Beschaffenheit seither nicht verändert. Wenn man sie jetzt durch Schächte und Stollen zur Ablagerung der Abfälle anbohrt, anschließend die Hohlräume wieder mit Salz auffüllt und verschließt, besteht kein Grund, daß sie nicht auch noch weitere Millionen Jahre so beschaffen bleiben sollen. Salz hat eine gewisse Plastizität, die das Aufkommen von Sprüngen und Klüften verhindert. Dadurch bleiben Salzformationen dicht. Außerdem sind sie gegenüber dem wasserführenden Deckgebirge durch mächtige Schichten hermetisch abgeriegelt. Ihre so lange zurückzuverfolgende Existenz beweist das. Aber selbst ein Wassereinbruch würde daran nicht viel ändern, weil das Wasser ja an Ort und Stelle bleiben und nur in kleinem Umfang – bis es gesättigt ist – Salz auflösen könnte.
Ein weiterer wesentlicher Vorteil ist, daß man im Salzgebirge wegen der günstigen felsmechanischen Eigenschaften zur Ablagerung der Fässer mit niedrig- und mittelaktiven Abfällen leicht große Hohlräume schaffen kann, die nicht besonders abgestützt werden müssen. Als Gas- und Ölspeicher werden solche Hohlräume bereits seit einer ganzen Reihe von Jahren angelegt und betrieben.

Schließlich ist es ein Vorteil, daß Salz im Vergleich zu anderem Gestein eine hohe Wärmeleitfähigkeit besitzt. Das begünstigt die Einlagerung der Spaltprodukte-Glasblöcke, bei denen man zunächst noch je Block mit einer Wärmeleistung von 2 Kilowatt rechnen muß, also etwa der Wärmeproduktion eines kleinen Elektroofens. Dabei kommt ein weiterer Vorteil des Salzes zum Tragen: Weil es bei höheren Temperaturen zähflüssig wird, bildet sich bald ein intensiver Kontakt zwischen dem eingelagerten Glasblock und dem Bohrloch im Salz, so daß die radioaktive Zerfallswärme auch wirklich in das Salzgestein gelangt. Man muß damit rechnen, daß die Glasblöcke an ihrer Oberfläche etwa 200 bis 250 Grad warm sind. In ihrem Innern werden 350 bis 400 Grad erreicht.

Gestaltung des Grubengebäudes

Wie das Grubengebäude im Salzstock des Entsorgungszentrums einmal gestaltet wird, hängt im einzelnen natürlich von den dort bei den Voruntersuchungen vorgefundenen Verhältnissen ab. Aufgrund von umfangreichen Erfahrungen, die man während eines Jahrzehnts mit der Einlagerung radioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse sammeln konnte, wird man für die Einlagerung der schwach- und mittelaktiven Abfälle, wie schon erwähnt, große Hohlräume schaffen, in die die Fässer mit dem gebundenen Material möglichst direkt von der Erdoberfläche aus abgelassen werden können. Bei den mittelaktiven Abfällen wiegt die Abschirmung, in der die Fässer befördert werden müssen, mehrere Tonnen. Der Transport dieser Abschirmbehälter durch das Grubengebäude stellt heute eine erhebliche Belastung der Fördereinrichtungen dar. Davon möchte man abkommen.



Das Endlager unter dem Entsorgungszentrum soll alle drei Aktivitätskategorien aufnehmen, hochaktive verglaste Abfälle, mittelaktive und leichtaktive Abfälle. Die endgültige Gestaltung des Grubengebäudes hängt von den geologischen Untersuchungen ab. Dabei wird man kaum darauf verzichten können, Untersuchungs-Stollen vorzutreiben.

Andere Überlegungen gehen dahin, auf die Fässer ganz zu verzichten und die mit Zementmilch oder Bitumen vermischten niedrig- und mittelaktiven Abfälle noch im flüssigen Zustand, also vor dem Abbinden des Zements, durch ein Rohr direkt in die aus dem Salz herausgearbeitete Kaverne zu pumpen. Man muß dann nur aufpassen, daß nicht in der Zuführungsleitung Zementmilch- oder Bitumenreste hängen bleiben, die nach und nach zu einem Verstopfen führen. Um das mit Sicherheit auszuschließen, wird auch daran gedacht, die mit Zement verfestigten Abfälle zu einem Granulat zu verarbeiten und dieses durch ein entsprechendes Rohr einfach in die Tiefe rutschen zu lassen.
Die in Edelstahlbehälter eingegossenen hochaktiven Glasblöcke müssen in jedem Fall geordnet eingelagert werden. Dazu bohrt man von einem Stollen aus senkrechte Löcher in Stärke der Glaszylinder etwa 50 Meter tief nach unten in den Boden. Die einzeln in Abschirmbehältern herbeigebrachten Blöcke werden dann nacheinander in ein solches Loch abgelassen und darin aufeinander gestapelt, so daß etwa 30 Glaszylinder in einem Loch Platz finden. Oben wird das Loch dann mehrere Meter tief mit Beton und Salz verschlossen, so daß keine Strahlung in den Stollen dringen kann und dieser wieder begehbar ist.
Im gleichen Stollen werden dann weitere solche Bohrungen niedergebracht, wobei mit Rücksicht auf die Wärmeableitung zwischen den Bohrungen ein Abstand von jeweils 10 Metern eingehalten werden soll. Etwa 50 solcher Bohrungen sind notwendig, um die Jahresproduktion der Wiederaufarbeitungsanlage - etwa 1.500 Glasblöcke - aufzunehmen. Das entspricht bei zwei Bohrungen nebeneinander einem Stollen von 20 Meter Breite

und 300 Meter Länge. In einem ausgedehnten Salzstock lassen sich sehr viele solcher Einlagerungsstollen anlegen, so daß ein solcher Stock über viele Jahrzehnte hinweg den hochaktiven Abfall aufnehmen kann.
Die einzelnen Stollen werden, sobald ihre senkrechten Bohrlöcher besetzt sind, wieder mit Salz aufgefüllt und am Eingang durch Salzbeton verschlossen. Selbst bei einem späteren Einbruch von Wasser in das Grubengebäude würden die verschlossenen Stollen - und damit die so abgeschlossenen Glasblöcke - unberührt bleiben.
Wenn das ganze Abfall-Lager voll ist, wird man auch die noch verbliebenen Stollen und Schächte mit Salz auffüllen, so daß schließlich fast der ursprüngliche Zustand des Salzstocks wieder hergestellt ist. Die Ausschließung aus dem Stoffkreislauf der Erde ist damit perfekt, und es erscheint nicht nötig, das Lager zu bewachen.

Zur Infrastruktur des Zentrums

Wie in jeder großen Industrieanlage, so wird es auch im bundesdeutschen Entsorgungszentrum eine Reihe von allgemeinen Einrichtungen geben, die die Infrastruktur sicherstellen. Zum Beispiel ist ein umfangreiches Wassersystem notwendig, um die verschiedenen Kühlkreisläufe und chemischen Prozesse zu versorgen. Dabei wird das Wasser im Kreislauf geführt, also nach dem Gebrauch rückgewonnen und erneut eingespeist. Verloren geht praktisch nur das Wasser, das verdunstet oder mit Abfälen eingedickt wird. Sogar die sanitären Abwässer der hier Beschäftigten sind in diesen Kreislauf mit einbezogen.
Dabei dient ein Teich von etwa 1,5 Millionen Kubikmeter Inhalt als Vorratsspeicher. Er wird einerseits aus dem auf dem Gelände gesammelten Regenwasser, andererseits

durch das rückgeführte Wasser gespeist. Für Kühlzwecke, als Trinkwasser und zur Gewinnung des vollentsalzten Wassers der Lagerbecken verwendet man Grundwasser, das aus eigenen Brunnen gefördert wird. Der Teich dient auch als Reserve für den Fall der Zerstörung von Kühleinrichtungen, etwa durch Flugzeugabsturz oder Sabotage. Sie können dann auf Durchflußkühlung umgeschaltet werden. Außerdem hat das Wasserreservoir die Funktion eines Feuerlöschteichs, etwa wenn es zu einer Wiederholung der Waldbrandkatastrophen kommen sollte, die 1975 und 1976 Niedersachsen heimsuchten.
Die elektrische Energie, die zum Betrieb des Zentrums notwendig ist, wird aus dem öffentlichen Netz über eine eigene Freiluft-Schaltanlage bezogen. Bei einer Anschlußleistung des Zentrums von etwa 100 Megawatt lohnt sich heute nicht mehr die Errichtung eines eigenen Kraftwerks. Allerdings sind eine Reihe von Notstromeinrichtungen über das Gelände des Zentrums verteilt, um für sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen in jedem Fall die Stromversorgung zu garantieren. Diese Mini-Elektrizitätswerke werden bewußt nicht an einer Stelle konzentriert, damit im Falle des berühmten Flugzeugabsturzes allenfalls nur ein Aggregat betroffen ist.
Auch die Erzeugung von Dampf für Prozeß- und Heizzwecke erfolgt nicht zentral, sondern an mehreren über das Gelände verteilten Stellen. Das Zentrum wird über eine eigene Mülldeponie für nicht-radioaktive Abfälle verfügen. Bei rund 3.600 Beschäftigten fallen etwa 2 Tonnen Hausmüll pro Tag an. Flüssige nicht-radioaktive Abfälle werden nach entsprechender chemischer Vorbehandlung in die eigene Kläranlage gegeben.
Wie jede kerntechnische Anlage, so verfügt auch das Entsorgungszentrum über umfangreiche Einrichtungen

zur laufenden Überwachung der Strahlenschutzbestimmungen und der Freisetzung von Radioaktivität innerhalb des Zentrums und in der Umgebung.
Darüber hinaus ist für das Entsorgungszentrum ein umfangreicher Werkschutz vorgesehen, der das Gelände und den Zugang zu den besonders geschützten Betriebsbereichen überwacht. Wie in großen konventionellen Chemiewerken gibt es eine eigene Betriebsfeuerwehr und einen medizinischen Dienst für Erste Hilfe. Dazu kommt die laufende medizinische Kontrolle der in den sogenannten Überwachungsbereichen tätigen Mitarbeiter. Auch ein Einsatztrupp für Schutz- und Gegenmaßnahmen bei Aktivitätsunfällen ist vorgesehen.
Schließlich gehören zum Zentrum die üblichen Betriebeinrichtungen wie ein Zentralgebäude für Geschäftsleitung, Verwaltung, Planung und technischen Dienst, ein Kasino und Sozialgebäude für die Mitarbeiter, Autohof und Wäscherei, Hauptwerkstatt und Zentrallager sowie – last not least – ein Informationszentrum für die Öffentlichkeit.

Terminplanung reicht weit in die Zukunft

Das alles muß nicht auf einmal errichtet werden. Der terminlich dringendste Bauabschnitt des Entsorgungszentrums sind das Brennelement-Lager und die dazugehörigen Entlade- und Empfangseinrichtungen. Ist das Lager erst einmal in Betrieb, hat man für einige Jahre die Gefahr gebannt, daß Kernkraftwerke stillgelegt werden müßten, weil ein Brennelement-Wechsel nicht mehr möglich wäre.
Der Rahmen-Terminplan für die Errichtung des Entsorgungszentrums sieht als frühestmöglichen Termin für die

volle Inbetriebnahme des Brennelement-Lagers Januar 1983 vor. Als spätestmöglicher Termin gilt Oktober 1984. Das scheint viel Zeit zu sein, doch allein für die Errichtung des Lagers und der dazugehörigen Einrichtungen muß man schon dreieinhalb Jahre vorsehen, und der Probebetrieb dauert ein weiteres Jahr. Beim frühen Termin müßte man bereits im Juli 1978, beim spätest möglichen im April 1980 mit den Bauarbeiten anfangen. Entsprechend vorher ist die Errichtungsgenehmigung zu erteilen. Um diesen Termindruck zu mildern, sollen schon vorher außerhalb des Entsorgungszentrums Zwischenlager für verbrauchte Brennelemente errichtet werden. Dadurch läßt sich zwar verhindern, daß unangemessene Verzögerungen bei der ersten Teilerrichtungs-Genehmigung für das Zentrum in Gorleben zu einer Stillegung bereits in Betrieb befindlicher Kernkraftwerke führen können. Doch die Grundidee des Entsorgungszentrums - Konzentration an einem Ort - wird dadurch zu einem gewissen Teil durchlöchert.
Als nächster Bauabschnitt muß im November 1981 mit dem Bau der Aufarbeitungsanlage und des Abfall-Zwischenlagers begonnen werden. Dafür ist eine Bauzeit von fast 5 Jahren zu veranschlagen. Dazu kommen je 2 Jahre für die kalte und die heiße Erprobung, also ohne und mit echten Spaltprodukten, so daß erst Ende 1990 hier der Volllastbetrieb beginnt. Zu diesem Zeitpunkt müssen auch das Abfall-Endlager für den niedrigaktiven und den mittelaktiven Abfall sowie die Einrichtungen zur Plutonium-Lagerung und Brennelement-Herstellung fertig sein. Da für das Endlager eine Bauzeit von fast 9 Jahren anzusetzen ist, müssen die Errichtungsarbeiten hier bereits Anfang 1982 beginnen. Bei der Plutonium-Anlage sind für Errichtung und Inbetriebnahme etwa 7 Jahre nötig, so

daß man hier noch bei einem Baubeginn Mitte 1983 zurechtkommt.
Als Endtermin für die volle Inbetriebnahme des ganzen Zentrums ist Ende 1993 vorgesehen. Dann müßten auch das Lager für den hochaktiven Müll nach 8 Jahren Bauzeit und die Einrichtungen zu dessen Konditionierung nach 4 Jahren Bauzeit und 2 Jahren Probebetrieb fertig sein. Für die endgültige Entscheidung über die Art der Abfallkonditionierung hat man noch bis Mitte 1984 Zeit. Dann beginnt die zweieinhalbjährige Planungsphase für diesen Bauteil.
Mit der Vorplanung aller dieser Einrichtungen ist im Laufe des Jahres 1976 begonnen werden. Mit der grundsätzlichen Zustimmung der Reaktorsicherheitskommission und der Strahlenschutzkommission zum Konzept des geplanten Entsorgungszentrums wurde im Oktober 1977 ein entscheidender Schritt zur ersten Genehmigung durch die zuständigen Behörden vollzogen. Damit wurde das letzte Hindernis aus dem Weg geräumt, das nach den vom Bundesinnenministerium aufgestellten »Grundsätzen zur Entsorgungsvorsorge für Kernkraftwerke« der Genehmigung zum Bau neuer Kernkraftwerke entgegenstand. Nur die Ministerpräsidenten von Nordrhein-Westfalen und Bremen hatten diesen Grundsätzen nicht zugestimmt.
Wenn im Zuge der Standortgenehmigung die Grundkonzeption akzeptiert ist, kann man die Planungsarbeiten für die später zu errichtenden Anlagen zunächst einmal auf Eis legen und vor deren Abschluß noch die letzten Erkenntnisse der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in den deutschen Kernforschungszentren und die Erfahrungen der europäischen und amerikanischen Partner abwarten.

Zuverlässigkeit durch Redundanz

Bei der singulären Bedeutung des Entsorgungszentrums für die Energieversorgung der Bundesrepublik ist neben der Forderung nach absoluter Sicherheit auch die Forderung nach Betriebszuverlässigkeit und ausreichender Verfügbarkeit von entscheidender Bedeutung. Darum sind wichtige Anlagenteile der Aufarbeitungsanlage mehrfach vorgesehen. Sowohl der erste Extraktionszyklus als auch die beiden Uranzyklen und Plutonium-Zyklen sind je doppelt vorhanden, so daß der maximale Durchsatz das Doppelte der Nennleistung beträgt, nämlich 8 Tonnen Uran-Brennstoff pro Tag. Die projektierte Jahresleistung der Gesamtanlage von 1.400 Tonnen entspricht nur 4 Tonnen pro Tag. Die Wiederaufarbeitungsanlage soll 365 Tage im Jahr in 3 Schichten rund um die Uhr betrieben werden. Aber es wird zur Erreichung der nominellen Jahresleistung genügen, wenn sie nur die Hälfte dieser Zeit voll einsatzfähig ist. Die gleichfalls doppelt vorhandenen Einrichtungen zur Brennelement-Zerlegung und -Auflösung haben sogar eine Gesamtkapazität von 16 Tonnen pro Tag, brauchen also durchschnittlich nur ein Viertel der Zeit verfügbar zu sein.
Diese Mehrfachausstattung – in der Fachsprache als Redundanz bezeichnet – kostet natürlich Geld. Doch dafür gewinnt man die Sicherheit, daß die technischen Probleme, mit denen man bei den Wiederaufarbeitungsanlagen der ersten Generation noch zu ringen hatte – und an deren psychologischer Bewältigung wir wohl sicher noch einige Zeit zu tragen haben werden –, praktisch keine Rolle mehr spielen. Zuverlässigkeit läßt sich planen und konstruieren.

Wie groß ist das Risiko?

Sicherheitsmaßnahmen bei Bau und Betrieb des Entsorgungszentrums

Es wäre töricht, wollte man die Risiken, mit denen der Betrieb der Wiederaufarbeitungsanlage im zentralen Entsorgungszentrum verbunden ist, ignorieren. Doch es ist auch unfair, sie ins unermeßliche aufzubauschen. Eine Wiederaufarbeitungsanlage hat ein theoretisches Gefährdungspotential, das etwa dem eines großen Kernkraftwerks entspricht. Die von ihr ausgehenden Gefahren sind keinesfalls größer, sei es nun bei normalem Betrieb oder bei einem Störfall.

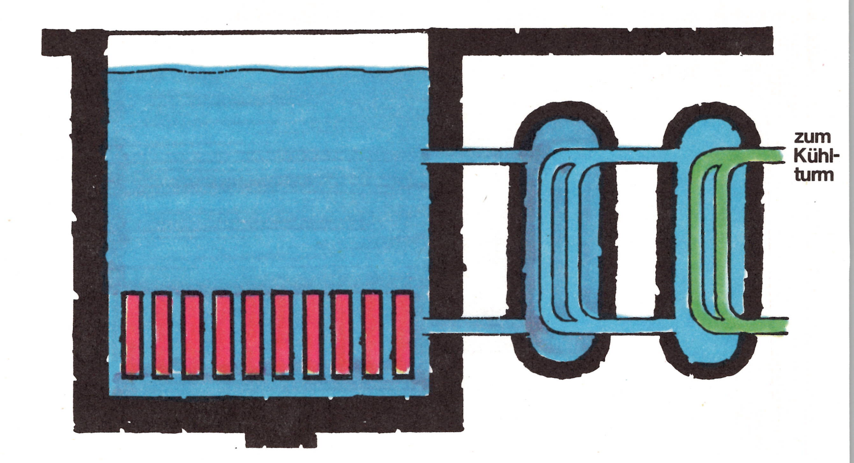
Zum Beispiel bestehen meist weit übertriebene Vorstellungen von der Radioaktivitätsmenge in einer Wiederaufarbeitungsanlage. In einem großen Kernkraftwerk von 1.300 Megawatt elektrischer Leistung hat das verbrauchte Spaltstoff-Inventar nach der Abschaltung des Reaktors eine Aktivität von etwa 4,8 Milliarden Curie. In einer Wiederaufarbeitungsanlage mit einem Durchsatz von 1.400 Tonnen Uranbrennstoff pro Jahr beträgt der Aktivitätsdurchsatz 3,5 Milliarden Curie, liegt also in der gleichen Größenordnung.

Die Tatsache, daß eine solche Wiederaufarbeitungsanlage den Kernbrennstoff von etwa 35 Kernkraftwerken der genannten Größe laufend verarbeiten kann, scheint dem zu widersprechen. Doch zum einen sinkt die Aktivität des aus dem Reaktor entladenen Brennstoffs schnell ab und hat nach etwa einem Jahr, wenn die Wiederaufarbeitung

erfolgt, nur noch ein Zwanzigstel ihrer ursprünglichen Größe. Zum anderen wird von dem verbrauchten Brennstoff des Reaktors pro Jahr immer nur ein Drittel ersetzt und der Wiederaufarbeitung zugeführt.
Bei der theoretischen Risikobetrachtung ist die Wiederaufarbeitungsanlage auch insofern günstiger daran, weil in ihr nicht mit hohen Temperaturen oder hohem Druck gearbeitet wird. Bei einem Kühlmittelverlust - hier wie beim Reaktor der theoretisch schwerste Störfall - steht in einer Wiederaufarbeitungsanlage mehr Zeit für Gegenmaßnahmen zur Verfügung, weil sich hier die gefährdeten Aktivitäten zunächst einmal aufheizen müssen. Im Reaktor sind sie noch vom vorhergehenden Betrieb her heiß.
Als zusätzlicher Risikobeitrag kommt in Wiederaufarbeitungsanlagen die Gefahr chemischer Reaktionen - Brand oder Explosion - hinzu. Doch andererseits sind die davon betroffenen Aktivitätsmengen nicht groß, weil sich während des Prozeßablaufs immer nur verhältnismäßig wenig Brennstofflösung gerade in der Aufarbeitung befindet und unter Umständen durch eine chemische Reaktion zerstäubt werden kann. Auch Kritikalitätsunfälle sind in einer Wiederaufarbeitungsanlage nicht auszuschließen. Doch da die dabei freigesetzte Energie jeweils nur gering ist, lassen sich deren Auswirkungen in gleicher Weise wie bei chemischen Reaktionen in Grenzen halten.

Theoretisches Gefährdungspotential und tatsächliches Risiko

Ein grundsätzliches Problem solcher Sicherheitsbetrachtungen besteht darin, daß bei der Diskussion möglicher Gefahren nur zu oft - aus Unkenntnis oder Böswilligkeit -



Das Kühlsystem eines Brennelement-Lagerbeckens im Entsorgungszentrum arbeitet mit zwei hintereinandergeschalteten Wärmetauschern. Wenn ein Wärmetauscher undicht wird, kann noch kein radioaktives Wasser aus dem Lagerbecken in den äußeren Kühlkreislauf gelangen. Jedes dieser mit drei Kreisläufen arbeitenden Kühlsysteme ist je Becken dreimal vorhanden. Sollten alle drei auf einmal ausfallen – ein höchst unwahrscheinliches Ereignis –, könnte eine sichere Kühlung der eingelagerten Brennelemente immer noch einfach durch Nachfüllen des verdampfenden Wassers sichergestellt werden.

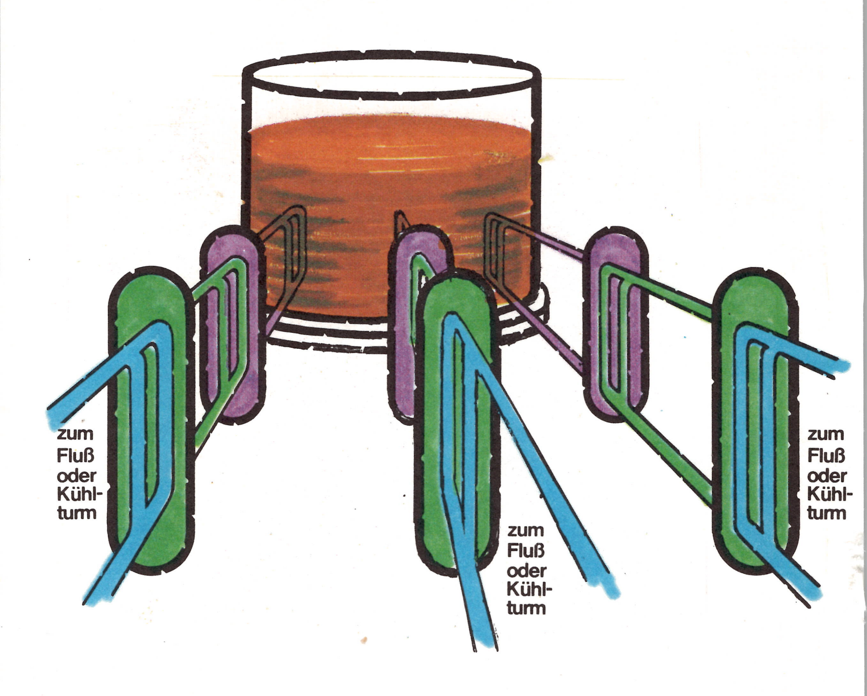
das theoretische Gefährdungspotential mit dem tatsächlichen Risiko verwechselt wird. Gegen Gefahren kann man sich bekanntlich durch Sicherheitseinrichtungen schützen. Und wenn die Gefahr besteht, daß eine Sicherheitseinrichtung ausfällt, wird man sie ihrerseits absichern. So läßt sich das tatsächliche Risiko nahezu auf Null bringen. Daß man eine echt hundertprozentige Sicherheit wohl praktisch, doch theoretisch nicht erreichen kann, liegt nur daran, daß man theoretisch den völlig unwahrscheinlichen Fall unterstellen muß, sämtliche Sicherheitseinrichtungen könnten auf einmal ausfallen und das Aktivitätsinventar würde dann auf Grund der physikalischen Randbedingungen ungestört freigesetzt. Wie unsinnig ein solcher Standpunkt ist, läßt sich am Beispiel einer Studie dokumentieren, die im Sommer 1976 vom Institut für Reaktorsicherheit in Köln über den Ausfall der Kühlung im Brennelement-Lager und in einem Tank mit hochaktivem Spaltproduktkonzentrat einer Wiederaufarbeitungsanlage angefertigt wurde mit dem Ziel, eine Vorstellung vom zeitlichen Ablauf solcher Störfälle zu bekommen. Für den Fall des Kühlungsausfalls im Brennelement-Lagerbecken kommt die Studie zu dem Ergebnis, daß zunächst mindestens eineinhalb Tage vergehen, bis das Wasser im Becken überhaupt erst einmal zum Sieden kommen kann. Erst nach 10 Tagen frühestens wäre alles Wasser verdampft, und erst nach 11 Tagen könnte es zum Versagen der Brennelement-Umhüllungen und damit zur Freisetzung von Spaltprodukten kommen. Dabei mußte in der Studie, um überhaupt zu einem solchen Ergebnis zu kommen, eine unrealistische geringe natürliche Wärmeabstrahlung der heißen Brennelemente unterstellt werden. Nur so war – theoretisch – eine Erhitzung bis zum Brennelement-Versagen zu erreichen.

– Erscheint es vorstellbar, daß in einer Wiederaufarbeitungsanlage nach Ausfall der Kühlung 10 Tage lang niemand auch nur einen Finger krümmt, wo es doch genügen würde, mit einem Feuerwehrschlauch Wasser in das Brennelement-Becken zu füllen? Wo hat man sonst noch soviel Zeit für Gegenmaßnahmen bei Betriebsstörungen? Auch im Fall der Selbstaufheizung von Spaltproduktkonzentrat nach Versagen der Kühlung sind die Zeiträume für Gegenmaßnahmen immer noch bemerkenswert lang. Selbst unter Annahme der ungünstigsten Voraussetzungen für die Wärmeabgabe an die Umgebung beginnt das Konzentrat – so das Ergebnis der Studie – erst nach etwa zweieinhalb Stunden zu sieden. Erst nach knapp eineinhalb Tagen wäre alles Wasser verdampft, würde man alles weiterhin sich selbst überlassen. Erst dann könnte sich eine Schmelze bilden, aus der Spaltprodukte ausdampfen. Doch schon durch Zugabe von Wasser ließe sich das harmlose Sieden des Konzentrats unendlich lange aufrechterhalten. Noch einfacher und sicherer erscheint es, durch Verbesserung der Wärmeleitfähigkeit zwischen Konzentrat und Behälter einerseits sowie zwischen Behälter und Umgebung andererseits eine so gute Wärmeabgabe zu erreichen, daß bei nicht zu frischen Spaltprodukten überhaupt keine Kühlung mehr erforderlich ist. Die Glasblöcke, zu denen das Konzentrat verarbeitet wird, kühlen sich ja bereits »selbst« durch Abgabe der überschüssigen Wärme an die Umgebung.
Natürlich müssen die für die Genehmigung von Kernenergieanlagen Verantwortlichen solche extremen Gefährdungspotentiale einmal durchrechnen. Doch es ist in hohem Maße unfair und unsachlich, solche theoretischen Gefährdungspotentiale ungeachtet der so einfachen – und darum zuverlässig wirkenden – Gegenmaß-

nahmen zu einer realen Gefahr hochzustilisieren und zu folgern: »Daraus ergibt sich, daß bei einem solchen Unfall etwa 30,5 Millionen Bewohner der Bundesrepublik umkommen würden.«

Schutz gegen Kühlungsausfall und Explosionen

Im übrigen wäre der »Feuerwehrschlauch« erst die allerletzte Sicherheitsmaßnahme bei Kühlungsausfall. Je Brennelement-Becken sind drei unabhängige Kühlsysteme vorgesehen, von denen aber bei vollgefülltem Becken nur jeweils zwei zur Einhaltung der vorgesehenen Wassertemperatur von 40 Grad nötig sind. Das dritte System dient als Reserve und springt erst an, wenn eins der beiden anderen Systeme ausfallen sollte. Wollte es der Zufall, daß noch ein weiteres System ausfiele, dann also nur noch ein System verfügbar wäre, würde das auch nicht schlimm sein. Die Wassertemperatur im Brennelement-Lagerbekken würde sich gerade auf 60 Grad erhöhen, und es geschähe sonst überhaupt nichts.
Auch in den Lagertanks für Spaltprodukt-Konzentrat ist das Kühlsystem doppelt, zum Teil sogar vierfach vorhanden. Es gibt zwei Kühlkreisläufe, von denen jeder allein die volle Kühlleistung erbringen kann. Zusätzlich sind die Pumpen und Ventile, die einzig störanfälligen Komponenten solcher Kühlsysteme, je Kreislauf doppelt, also insgesamt vierfach vorgesehen. Darüber hinaus könnte man in Notfällen das Wasser des Kühlteichs direkt durch die in das Spaltproduktkonzentrat hängenden Kühlschlangen strömen lassen. Selbstverständlich können die Pumpen aller Kühlsysteme bei Stromausfall durch Notstromaggregate versorgt werden, und selbstverständlich sind sie in die Betonabschirmung gegen Flugzeugabstürze und Explosionen mit einbezogen.



Auch die Lagertanks für das Spaltprodukt-Konzentrat sind mit Kühlsystemen ausgestattet, die aus zwei hintereinandergeschalteten Wärmetauschern bestehen. Sollten die Kühlschlangen im Konzentrat undicht werden, würde die Radioaktivität erst bis zum ersten Wärmetauscher vordringen. Auch dieser könnte noch undicht werden, ohne daß die Umgebung gefährdet würde. Diese Kühlsysteme sind mehrfach vorhanden. Schon ein System könnte die volle Kühlleistung erbringen.

Ein anderer möglicher Störfall, für den Sicherheitsmaßnahmen vorgesehen werden müssen, ist eine Explosion beim Konzentrieren der Spaltprodukt-Lösungen in einem Verdampfer. Dazu kann es kommen - wie 1953 in einer amerikanischen Anlage wirklich geschehen -, wenn organische Lösungsmittel und mäßig konzentrierte Salpetersäure vermischt und auf eine Temperatur von 155 Grad erhitzt werden. Darum wird man in Gorleben - oder wo immer die große deutsche Wiederaufarbeitungsanlage entsteht - den einzudampfenden Flüssigkeitsstrom vorher mit Hilfe von Abscheidern und Wäschern von den organischen Bestandteilen reinigen. Außerdem führt man den Verdampfungsprozeß so, daß eine Temperatur von 155 Grad nicht überschritten wird.
Schließlich baut man die Zellen, in denen die Verdampfer stehen, so stabil, daß eine etwa eintretende Explosion auf die jeweilige Zelle beschränkt bleibt. Dazu sind deren Wände doppelwandig ausgeführt, und zwar mit einer 2 Meter starken Innenwand und einer 1,8 Meter starken Außenwand. Außerdem baut man die Abluftkanäle in der Weise, daß sich die Explosionswelle nach Zerstörung der ersten Filter bis zu den Endfiltern totläuft. Hier befindet sich als Abschluß ein Sandbettfilter, das als vollständig explosionssicher gilt. Damit läßt sich selbst im Fall einer Verdampferexplosion jede zusätzliche Strahlenexposition der Menschen außerhalb der Anlage verhindern.
Einem ähnlich gestaffelten Sicherheitskonzept folgen die konstruktiven Maßnahmen gegen Kritikalitätsstörfälle. Damit es gar nicht erst zur Kritikalität kommen kann, werden überall dort, wo sich Brennstofflösungen in hinreichender Konzentration ansammeln könnten, geometrische Formen gewählt, die das Zustandekommen einer kritischen Masse mit Sicherheit verhindern. Zusätzlich

denkt man an den Einbau von Blechen, die freie Neutronen absorbieren und so Kritikalität verhindern. Auch die Beigabe von flüssigem Neutronengift wie Gadolinium wird erwogen. Sollte es aber trotzdem einmal zu einem Kritikalitätsstörfall kommen, bleiben die Auswirkungen wie bei der Verdampferexplosion auf die betreffende Prozeßzelle beschränkt, und auch ein Durchschlag weiter entfernter Filter ist nicht zu befürchten. Da es in der Vergangenheit mehrfach in Wiederaufarbeitungsanlagen Kritikalitätsstörfälle gegeben hat, kann man sich bei diesen Berechnungen nicht nur auf theoretische Abschätzungen, sondern auch auf praktische Erfahrungen stützen.
Schließlich gehört zu den Störfällen, auf die man sich einrichten muß, der Brand von aktivitätsbeladenen Lösungsmitteln. Immerhin wird in den Trennzyklen als ölige Phase Kerosin verwendet, also Flugzeug-Treibstoff. Auch der Brand von Zirkaloy-Pulver, das beim Zersägen der Brennelement-Hüllrohre anfällt, muß als Möglichkeit in Betracht gezogen werden. Unterhalb einer gewissen Korngröße kann sich Zirkaloy-Pulver, wenn es mit Luft in Kontakt kommt, sogar von selbst entzünden. Auch Zirkaloy-Staubexplosionen sind also nicht auszuschließen. Aber auch hier werden die Betriebsbedingungen so eingerichtet, daß es eigentlich zu den genannten Störfällen nicht kommen kann. Für den Fall, daß sie dennoch passieren, sind entsprechende Löschvorrichtungen vorgesehen. Und wie in Hinblick auf andere Störfälle werden Gebäudekonstruktion und Filteranlagen so dimensioniert, daß die Auswirkungen im Innern gering und auf die Umgebung weit unterhalb der behördlich festgelegten Höchstwerte bleiben.

Rückhaltung der Radioaktivität bei Normalbetrieb

Die gleiche Philosophie liegt den Sicherheitsmaßnahmen für die Rückhaltung der Radioaktivität im Normalbetrieb zugrunde. Hier steht man vor dem Problem, daß die Wiederaufarbeitung eine Reihe von Prozeßschritten umfaßt, bei denen - wenn auch im einzelnen nur in geringer Menge - Radioaktivität freigesetzt wird. Ob die Abluft aus den Tanks der flüssigen Spaltprodukt-Konzentrate, ob der Dampf bei der Konzentrierung von Spaltprodukt-Lösungen oder die Dämpfe bei der Auflösung des Brennstoffs nach dem Zerhacken der Brennelemente, immer fallen - mal weniger, mal mehr - radioaktive Gase oder Aerosole an, die weitgehend zurückgehalten werden müssen.
In jedem einzelnen Fall reichen dazu die heute bekannten Techniken aus. Doch da die Umweltbelastung ja nicht viel größer sein soll als bei einem einfachen Kernkraftwerk, muß der Aufwand im einzelnen mitunter erheblich höher sein. Man schätzt, daß die Dosiswerte in der Umgebung einer großen Wiederaufarbeitungsanlage rund zehnmal höher liegen werden als bei einem großen Kernkraftwerk heute. Doch das sind dann trotzdem nur wenige Milli-rem, also eine Dosis weit unterhalb der Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenbelastung und in jedem Fall innerhalb der höchstzulässigen 30 Milli-rem am ungünstigsten Auftreffpunkt.
Besondere Vorkehrungsmaßnahmen müssen für die Zurückhaltung des Krypton-85 getroffen werden. Es handelt sich dabei um ein gasförmiges Spaltprodukt, das bis zur chemischen Auflösung der Brennelemente im Kernbrennstoff eingeschlossen ist, dann aber mit den Schwefelsäuredämpfen austritt. Wegen seiner chemischen

Trägheit – es handelt sich um ein Edelgas – stellt es für die unmittelbare Umgebung nur eine verhältnismäßig geringe Belastung dar und könnte darum, wie das bei allen älteren Wiederaufarbeitungsanlagen gemacht wird, zunächst ohne Einschränkung an die Atmosphäre abgegeben werden. Das Problem stellt sich hier erst mit der globalen Belastung, also mit der steigenden Krypton-Verunreinigung der ganzen irdischen Lufthülle. Wenn weiterhin überall auf der Erde das Krypton-85 uneingeschränkt freigesetzt wird, könnte es Anfang des kommenden Jahrhunderts zu einer unzulässigen Strahlenbelastung kommen.
Darum werden weltweit Verfahren zur Abtrennung des Krypton-85 aus der Abluft von Wiederaufarbeitungsanlagen entwickelt. Da das Edelgas keine chemischen Reaktionen eingeht, kann man es allerdings auch nicht chemisch binden. Es bleibt nur die Möglichkeit, es durch Abkühlen auszukondensieren, etwa wie man das bei der Luftverflüssigung bereits im großtechnischen Maßstab macht.
Das flüssige radioaktive Krypton füllt man in Druckgasflaschen, wie sie sich seit vielen Jahren für den Transport und die Lagerung von Gasen bewährt haben, und bringt die Flaschen in ein spezielles Lager. Die Aktivität je Flasche liegt anfänglich bei 500.000 Curie, was einer Wärmeleistung von etwa 2 Kilowatt entspricht. Trotzdem ist Luftkühlung ausreichend. Zur Endlagerung bietet sich die Versenkung der Gasflaschen in der Tiefsee an. Die Halbwertzeit des Krypton-85 liegt bei 10 Jahren, so daß nach 100 Jahren die ursprüngliche Aktivität auf ein Tausendstel abgeklungen – und damit praktisch beseitigt – ist. So schnell kommt das eventuell aus den Gasflaschen austretende und dann in Tiefseewasser in Lösung gehende Krypton nicht wieder an die Oberfläche.
Für die Abscheidung des gleichfalls bei der Kernbrenn-

stoff-Auflösung freigesetzten radioaktiven Jod-129 konnten in den letzten Jahren hochwirksame Feststoff-Filter entwickelt werden. Sie sind mit Silbernitrat imprägniert, das durch das Jod zu Silberjodid reduziert wird. Das ist eine Verbindung hoher chemischer Stabilität, so daß man die erschöpften Jod-Filter, nachdem man sie mit Beton umhüllt hat, direkt zur Endlagerung in eine Salzformation bringen kann. Diese Filter haben einen Rückhaltegrad von 99,98 Prozent, reduzieren den ursprünglichen Jodgehalt also auf 2 Zehntausendstel.

Das Tritium, das dritte der drei bei der Kernspaltung auftretenden gasförmigen radioaktiven Spaltprodukte, wird zu Schwerem Wasser aufoxidiert. Dies kann dann als flüssiger Abfall behandelt werden und belastet die Umgebung nicht.

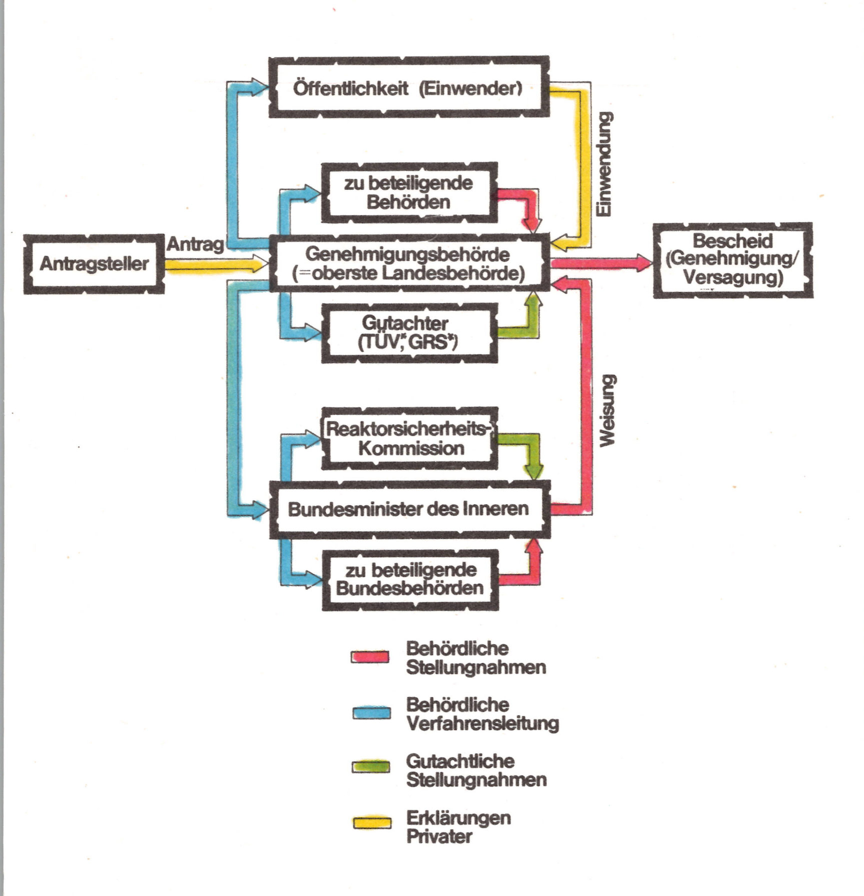
Neben diesen drei einzigen, in Wiederaufarbeitungsanlagen auftretenden radioaktiven Gasen können winzige Flüssigkeitströpfchen und Staubteilchen als radioaktive Aerosole anfallen und die Umgebung belasten. So muß alle Abluft vor der Entlassung in die Atmosphäre gereinigt werden. Dazu stehen wirkungsvolle Techniken in ausreichendem Umfang zur Verfügung: Neben Waschkolonnen, in denen die Abgase mit chemischen Lösungen ausgewaschen werden, bedient man sich der verschiedensten Filter. Einen besonders hohen Abscheidungsgrad besitzen die sogenannten Absolut-Filter, nämlich bis zu 99,99994 Prozent. Das bedeutet, unter 10 Millionen Partikeln haben höchstens sechs die Chance, im Filter nicht hängenzubleiben.

Damit innerhalb der Aufarbeitungsanlage und der angeschlossenen Betriebe wirklich alle Aerosole, Staubteilchen und Gase von Filtern erfaßt werden, stehen die Gebäude und die technischen Einrichtungen unter einem

gestaffelten Unterdruck. Die Laboratoriumsräume, in denen sich das Bedienungspersonal aufhält, stehen gegenüber der Außenluft unter Unterdruck. So kann bei einer Undichtigkeit des Gebäudes nur Luft von außen nach innen strömen, nicht aber Laborluft nach außen gelangen. In gleicher Weise stehen die Prozeßzellen unter Unterdruck gegenüber den Laboratoriumsräumen, damit nur Luft von dort in die Zellen - aber nicht umgekehrt - austreten kann. Die abgepumpte Luft wiederum gelangt nur über entsprechende Reinigungsanlagen nach außen.

Gegen Flugzeugabsturz, Erdbeben und Sabotage

Die anderen Sicherheitsmaßnahmen wurden zum Teil schon aufgeführt. Dazu gehört die Ausstattung der wichtigen Anlagenteile mit Betonwänden und Betondecken, die dem Aufprall schnellfliegender Militärmaschinen und den Druckwellen chemischer Explosionen widerstehen können. Das ist zugleich auch ein guter Schutz gegen Erschütterungen und Erdstöße.
Alle sicherheitstechnisch wichtigen Anlagenteile des Zentrums werden so ausgelegt, daß ihre Gebrauchsfähigkeit auch nach einem eventuellen Erdbeben erhalten bleibt. Es wird auch Vorsorge getroffen gegen Sturmschäden, Hochwasser, Blitz, Feuer und Flächenbrand. Dazu gehören die Wahl von Bau- und Werkstoffen mit ausreichender Feuerbeständigkeit, die sinnvolle Unterteilung der Gebäude in Brandbereiche, die entsprechende Ausbildung der Lüftungsanlagen und der Installation sowie der ausreichende Einbau von Feuerschutz- und Feuerlösch-Einrichtungen.
Für den Fall von Streiks und Arbeitsniederlegungen gibt es eigene Notprogramme. Die Anlagen werden nach einem



Das Atomgesetz schreibt ein sehr detailliertes Genehmigungsverfahren vor, dem nicht nur Kernkraftwerke, sondern auch der Bau und Betrieb der Anlagen des Entsorgungszentrums unterliegen. Für das Abfall-Endlager muß ein gesondertes Planfeststellungsverfahren durchgeführt werden (TÜV = Technischer Überwachungsverein, GRS = Gesellschaft für Reaktor-Sicherheit).

speziellen Bedienungsprogramm heruntergefahren und durch einen Notdienst im abgeschalteten Zustand überwacht. Die betriebsnotwendigen Medien wie Energie und Wasser stehen während dieser Zeit unabhängig von der öffentlichen Versorgung ständig zur Verfügung. Auch für einen längeren Zeitraum läßt sich diese Notversorgung aufrechterhalten.

Besondere Sicherheitsmaßnahmen gelten dem Schutz gegen Sabotage. Sowohl bei der Bauplanung wie bei der Gestaltung des umliegenden Geländes und bei der Planung der technischen Sicherheitseinrichtungen werden die Möglichkeiten eines gewaltsamen Eingriffs berücksichtigt und durch Gegenmaßnahmen weitgehend unwirksam gemacht. Dazu treten kontrollierende Schutzmaßnahmen wie die ständige Überwachung des Geländes und der Anlagenteile, Personenkontrolle und die Untersuchung etwaiger Betriebsstörungen in Hinblick auf Gewaltanwendung.

Bei allen Sicherheits- und Sicherungsmaßnahmen dieser Art betritt man kein Neuland. Man kann auf umfangreiche Erfahrungen in anderen Bereichen der Industrie und Wirtschaft, nicht zuletzt aber auch beim Betrieb der unterdessen recht zahlreichen Kernkraftwerke, zurückgreifen. Zudem liegt die Entscheidung über Art und Umfang der Sicherheitsmaßnahmen nicht allein bei dem Betreiber der Anlage. In einem umfangreichen, sehr detaillierten Prüfungsverfahren wird von unabhängigen staatlichen Instanzen – zum Teil unter Beteiligung der Öffentlichkeit – entschieden.

In ihrem Gutachten vom Oktober 1977 haben die Reaktorsicherheitskommission (RSK) und die Strahlenschutzkommission (SSK) ausdrücklich festgestellt: »Aus dem Betrieb in- und ausländischer Wiederaufarbeitungsanlagen

liegen umfangreiche Erfahrungen vor. Sie zeigen, daß die für die Beurteilung der sicherheitstechnischen Realisierbarkeit der Wiederaufarbeitung entscheidenden Probleme gelöst sind. Die Verfahren zur Behandlung, Zwischenlagerung und Endkonditionierung radioaktiver Abfälle befinden sich auf unterschiedlichen Entwicklungsstufen. Die Mehrzahl dieser Verfahren ist technisch ausgereift. Noch laufende Entwicklungsarbeiten - insbesondere zur Verglasung hochaktiver Abfälle - haben ein Stadium erreicht, das ihre grundsätzliche sicherheitstechnische Realisierbarkeit bestätigt.«

Wo leuchtet man sonst noch mit dieser Akribie jedes vorstellbare Risiko aus? Wo sonst wird ein so großer Sicherheitsaufwand getrieben? Wohl hat man es mit einem erheblichen Gefährdungspotential zu tun, doch diesem steht ein noch größeres Bemühen gegenüber, mögliche Auswirkungen der Gefährdung praktisch auf Null zu reduzieren.

Die Kernfrage der Kerntechnik

Die psychologischen Barrieren sind das eigentliche Problem

Wie ist das also mit der Entsorgung? - Die Ausführungen der vorangegangenen Kapitel sollten gezeigt haben, daß es dabei grundsätzliche Probleme physikalischer, biologisch-medizinischer oder sicherheitstechnischer Natur heute nicht mehr gibt. Das gilt insbesondere für die eigentliche Wiederaufarbeitung, bei der man auf 35jährige Erfahrung zurückgreifen kann. Bedenken lassen sich lediglich aus der Tatsache ableiten, daß die Technik der Endlagerung - die Fixierung des hochaktiven Mülls in Glasblöcke und Einlagerung in den Salzstock - verhältnismäßig neu ist und man auf diesem Gebiet noch nicht über umfangreiche praktische Erfahrungen verfügt. Aber wie soll sich je etwas Neues durchsetzen und bewähren können, wenn ihm immer entgegengehalten wird, daß man damit noch keine Erfahrungen habe?
Daß dafür erst jetzt eine brauchbare Lösung entwickelt wird, liegt ja nicht daran, daß es bisher keine brauchbaren Lösungen gab. Der eigentliche Grund ist, daß man sich die Sache früher zu einfach gemacht hat, indem man alles im Meer versenkte oder in der Wüste vergrub und versikkern ließ, man also gar keine saubere Lösung zu brauchen schien. Auch jetzt drängt die Endlagerung der hochaktiven Abfälle ja noch gar nicht sosehr, wenn nur die Wiederaufarbeitung erst einmal in Gang kommt und am Standort der Wiederaufarbeitungsanlage ausreichende Lagermöglichkeit für die konzentrierten Spaltprodukte vorhanden

ist. Außerdem wird in Frankreich bereits jetzt eine fabrikartige Anlage zur Einschließung des hochaktiven Atommülls in Glasblöcke in Betrieb genommen. Die Bundesrepublik ist also nicht einmal alleiniger Pionier auf diesem Gebiet.
Ein anderer wunder Punkt ist die bisher nur im Laboratoriumsmaßstab erprobte Tiefkühl-Abtrennung des Krypton-85. Doch auch hier sind keine grundsätzlichen Schwierigkeiten zu erkennen, weil die Verflüssigung von Gasen in Tieftemperaturanlagen für den großtechnischen Einsatz heute zum Stand der Technik gehört.

Wer will schon den Abfall der anderen?

Andererseits wäre es vermessen zu glauben, man könne die Probleme der Entsorgung nach dem St.-Florian-Prinzip auf andere Länder, zum Beispiel die USA, abwälzen, etwa mit der Begründung: Ihr habt viel mehr unbewohnte Landstriche, da kann man so etwas viel besser machen. Schon im Hinblick auf die langen Transportwege - und die dadurch erhöhten Transportgefahren - erscheint so etwas höchst fragwürdig, denn mit Sicherheit müßten die hochaktiven Spaltstofflösungen zurückgenommen und zurücktransportiert werden. Außerdem kann man sich nicht mit einem so wichtigen Teil des Brennstoffkreislaufs ohne Not in ausländische Abhängigkeit begeben. Es ist schon schlimm genug, daß wir das Uran importieren müssen, aber da gibt es wenigstens viele Länder, die als Lieferanten in Frage kommen. Die Kernenergie-Nutzung wird in der Bundesrepublik ja nicht zuletzt darum vermehrt eingesetzt, um die einseitige Abhängigkeit von den Erdöllieferanten zu mildern. Dafür jetzt mehr als unbedingt notwendig andere einseitige Abhängigkeiten einzutauschen, wäre

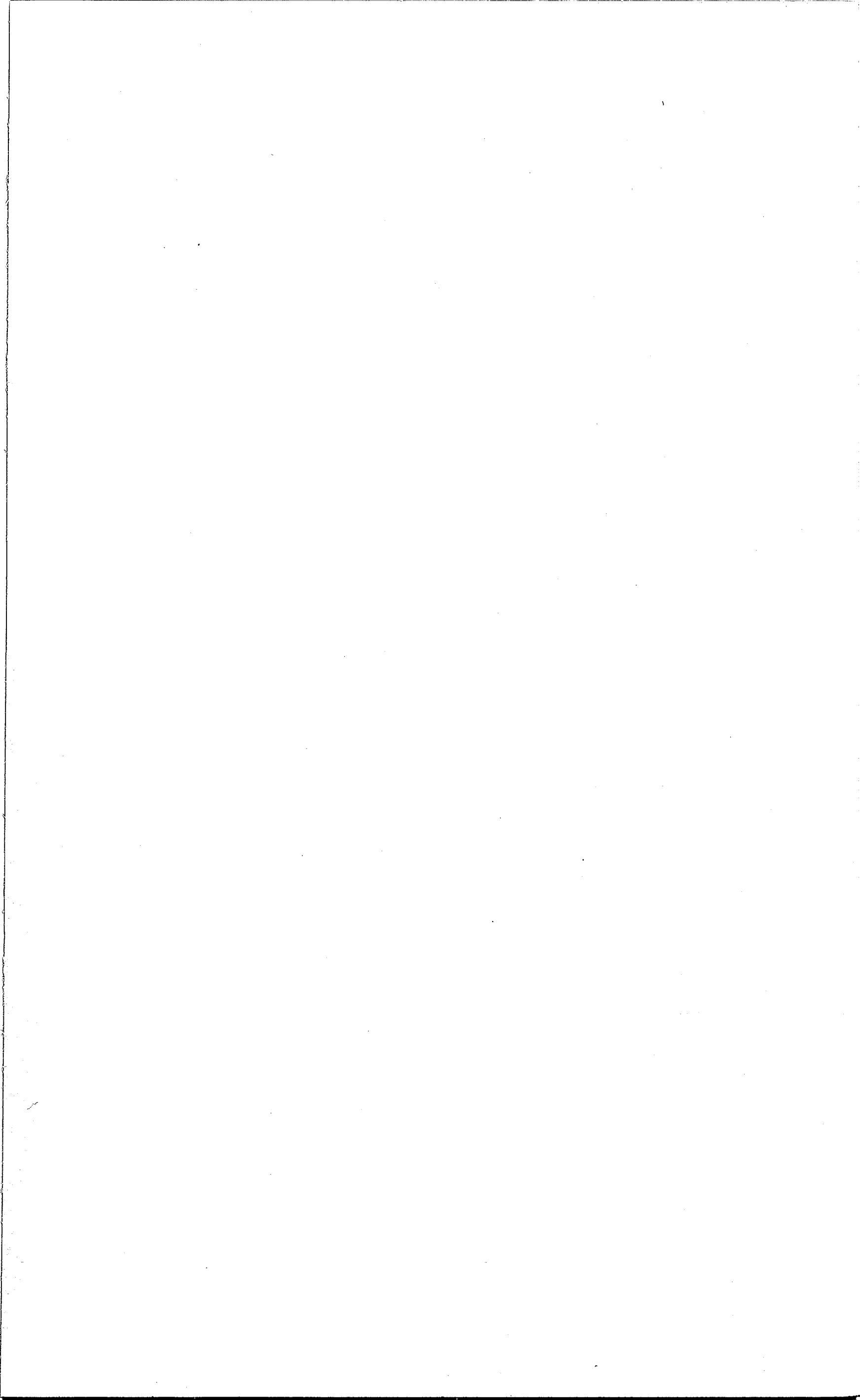
sinnlos. Die Entsorgung ist nun mal ein mühevolles Geschäft. Da kann man nicht erwarten, daß dies andere für einen besorgen.
Aber können wir es denn verantworten, in diesem Umfang radioaktive Stoffe und dieses fürchterliche Plutonium an einer Stelle zu konzentrieren? Wer so argumentiert, ist sich offenbar nicht bewußt, daß es chemische und biochemische Gifte gibt, die viel gefährlicher sind und von denen viel größere Mengen unter viel geringeren Sicherheitsvorkehrungen produziert werden. Dazu gehört zum Beispiel das überaus giftige Chlorgas, wenn es aus dem Kochsalz, seiner sonst so harmlosen chemischen Verbindung mit dem gleichfalls sehr aggressiven Element Natrium, gelöst wird. Allein die derzeitige amerikanische Chlorproduktion entspricht etwa 400 Billionen tödlicher Inhalationsdosen pro Jahr.
Auch biochemische Gifte sind viel wirkungsvoller. So gibt es in verdorbenen Konserven Botulismus-Bazillen, von denen ein hunderttausendstel Gramm einen Menschen töten kann. Dagegen besteht nach Einnahme von 25 Milligramm Plutonium erst eine 50prozentige Todeswahrscheinlichkeit. – Man muß Risiken immer in der richtigen Relation sehen. Absolute Sicherheit erreichen zu wollen für alles, was wir im Leben unternehmen und dessen wir uns aussetzen, ist eine gleichermaßen naive wie verhängnisvolle Illusion.

So schwer, die Realitäten zu sehen

So stehen wir im Grunde genommen weniger vor einem technischen als vielmehr vor einem psychologischen Problem. Es geht gar nicht mehr sosehr darum, wie sicher die einzelnen Prozeßstufen der Entsorgung nun wirklich

sind, es geht vielmehr darum, für wie sicher sie gehalten werden. Nachdem die eingeschworenen Kernkraftwerksgegner alle nur verfügbaren Register ziehen, um mit ihren Schreckvisionen den Durchschnittsbürger zu verunsichern, ist es für ihn schwer geworden, noch die nüchternen Realitäten zu sehen und sich nicht irre machen zu lassen. Zwar zeigen Meinungsumfragen nach wie vor deutlich das Übergewicht der Kernenergie-Befürworter in der breiten Öffentlichkeit, schon weil jedem halbwegs nüchtern denkenden Menschen das Risiko einer durch Energiebeschränkung verursachten Wirtschaftskrise als viel schwerwiegender erscheint. Doch kann das ganze Hin und Her nicht am Ende dazu führen, daß auch der Gutwilligste der Sache überdrüssig wird und ein weiteres Verschleppen und Vertragen anstehender Kernenergie-Entscheidungen noch als die beste Lösung empfindet? Die Rechnung dafür wird ihm nur leider erst nach Jahren präsentiert, und dann ist es - zumindest für schnelle Korrekturen - zu spät.
Hinzu kommt das eigenartig ambivalente Verhältnis, das die gewählten Vertreter des Volkes - in einer parlamentarischen Demokratie wie der unseren die einzigen Träger der Entscheidungsgewalt im Staate - zu den selbsternannten politischen Entscheidungsträgern, den Bürgerinitiativen, haben. Auf der einen Seite glauben sie hier ein politisches Engagement zu finden, wie sie es sich für ein gut funktionierendes parlamentarisches System immer gewünscht haben. Auf der anderen Seite können sie nicht die Augen davor verschließen, daß ihnen durch die Kernkraftgegner und ihren politisch motivierten Anhang die politische Macht streitig gemacht wird und hier neben seriösen Kritikern auch Kräfte am Werk sind, denen es um nichts anders als um die Zerstörung des freiheitlich demo-

kratischen Systems geht. Die gewählten politischen Organe können sich nicht ihre Entscheidungsfähigkeit beschneiden oder gar nehmen lassen. Doch zugleich möchten sie sich in keiner Weise in Gegensatz zu Bürgeraktionen setzen, weil sie fürchten, dadurch an Gunst ihrer Wähler zu verlieren. So bleibt ihnen nur ein Seiltanz, der über kurz oder lang über ihre Kräfte gehen muß.
Wer einmal die Geschichte des ausgehenden 20. Jahrhunderts schreiben wird, dürfte wohl zu dem Ergebnis kommen, daß die in dem Streit um die Entsorgung gipfelnde große Kernenergiediskussion in der Bundesrepublik Ausdruck tiefergreifender irrationaler Strömungen war. Vermutlich wird er feststellen, daß dabei eine gewisse Krise des parlamentarischen Systems und Staatsverdrossenheit eine entscheidende Rolle spielten. Ob aber alles nur ein Wetterleuchten blieb oder ob dadurch die Grundfesten der wirtschaftlichen und staatlichen Stabilität erschüttert wurden, das weiß heute noch niemand, denn noch ist dieses Kapitel nicht zu Ende geschrieben.



In der Kernenergie-Diskussion findet kaum ein zweites Thema so viel Beachtung wie die Entsorgung: Die Wiederaufarbeitung der aus dem Reaktor kommenden Brennelemente und der endgültige Verbleib der hochaktiven Spaltprodukte.
Hier wird nun ein Buch vorgelegt, das dieses Thema umfassend, anschaulich und verständlich behandelt mit dem Ziel, an die Stelle von Spekulationen und Schreckvisionen Sachinformationen und Einsicht zu setzen.
Robert Gerwin schildert, wo die noch offenen Probleme dieser neuen Technik liegen, gibt aber zugleich auch einen Einblick in die Lösungsmöglichkeiten.
Ausführlich beschreibt er das in der Fachwelt als vorbildlich und bisher einmalig geltende Projekt des bei Gorleben geplanten deutschen Entsorgungszentrums.
Fragen der Sicherheit stehen dabei im Vordergrund. Kritisch setzt sich Robert Gerwin mit den wirklichen und den vermeintlichen Risiken der Kernkraft und besonders der Entsorgung auseinander.
Vom gleichen Autor sind im ECON-Verlag erschienen das Taschenbuch »So ist das mit der Kernenergie«, sowie das gleichfalls Energiefragen gewidmete Sachbuch »Prometheus wird nicht sterben«.

245 032 04

